

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий
Кафедра систем искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г. М. Цибульский
подпись
«_____» _____ 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Разработка информационной системы
многокритериальной оценки земель сельскохозяйственного назначения

09.04.01 Информатика и вычислительная техника

09.04.01.10 Интеллектуальные информационные системы

Научный руководитель	_____	канд. техн. наук. Ю. А. Маглинец
	подпись, дата	
Выпускник	_____	С. Ю. Бочарникова
	подпись, дата	
Рецензент	_____	Ф. А. Казаков
	подпись, дата	
Нормоконтролер	_____	Ю. А. Маглинец
	подпись, дата	

Красноярск 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Анализ предметной области	6
1.1 Исследование методов и технологий построения пространственно-ориентированных систем поддержки принятия решений	6
1.2 Методы и модели оценки земель сельскохозяйственного назначения	9
1.3 Система знаний об оцениваемом объекте	12
1.4 Вывод по главе 1	18
2 Разработка методики расчета многокритериальной оценки состояния земель сельскохозяйственного назначения.....	20
3 Прототипирование системы поддержки принятия решений многокритериальной оценки ЗСХН	33
3.1 Детализация требований к системе	33
3.2 Проектирование системы поддержки принятия решений	37
3.3 Разработка функциональной структуры СППР	43
3.4 Описание разработанных модулей системы	46
3.5 Выбор технических решений для разработки прототипа модуля расчета оценок	48
3.6 Разработка прототипа модуля расчета оценок.....	50
3.7 Вывод по главе 3	54
Заключение	55
Список использованных источников	57
Приложение А Плакаты презентации	64

ВВЕДЕНИЕ

Сельское хозяйство играет значительную роль в настоящей и будущей экономике страны. Его основной целью является обеспечение населения питанием, и сырьем промышленность. Также, нельзя не отметить влияние данной отрасли на здоровье населения, демографическую обстановку и участие страны в мировом разделении труда. Сельскохозяйственное производство представляет собой сложную целостную, и в первую очередь биологическую, систему воспроизводства энергии с участием природных, социальных, экономических и технических факторов. При правильном использовании почвы повышается ее плодородие. Оно является основой сельского хозяйства, т. к. от него зависит урожайность сельскохозяйственных культур и продуктивность земельных участков. Поэтому рациональное управление сельскохозяйственными землями является важной задачей в сельском хозяйстве.

Ранее, развитие сельского хозяйства происходило путем совершенствования машинных технологий, достижений генетики, применения удобрений и средств защиты сельскохозяйственных культур. Сейчас, одним из важных инструментов, направленных на развитие сельского хозяйства являются информационные технологии. Применение информационных технологий в сфере управления агропромышленным комплексом (АПК) дает возможность систематизировать знания, представлять их в виде информационной системы, оперативно изменять, а также обеспечивать релевантной актуальной информацией лиц, принимающих решения (ЛПР). Представление такой информации можно осуществить при помощи систем поддержки принятия решений (СППР).

Важным ресурсом и главным средством производства в сельском хозяйстве являются земли сельскохозяйственного назначения (ЗСХН). При организации эффективного управления АПК на всех на административно территориальных уровнях целесообразно использовать информацию об анализе

(оценке) текущего состояния и динамике параметров ЗСХН. Получение этой информации представляет собой сложную задачу. Для получения оценки ЗСХН необходимо учесть знания в различных областях: геоботанике, экономике, экологии, сельском хозяйстве, почвоведении, растениеводстве, геопространственного анализа и др. В процессе получения оценки ЗСХН, необходимо учитывать влияние климатических факторов, характеристик почвенного и растительного покрова, особенности инфраструктуры, геопространственные характеристики оцениваемых участков земной поверхности, что говорит о том, что земля, как объект оценивания, представляет из себя сложную иерархическую, многокритериальную систему. Ввиду сложности и многокритериальности самой задачи оценки земли, не существует однозначного алгоритма оценки ЗСХН.

Показатели, которые могут быть использованы для количественного определения параметров ЗСХН, а также методы их измерения, можно найти в работах [1-10]. Приведенные модели решения задач оценки земельных участков в работах [1-10] применимы и реализуемы на определенных территориях, используемых при исследовании. Также стоит отметить, что в рассматриваемых работах в недостаточной мере затронуты вопросы геопространственного анализа расположения ЗСХН относительно объектов инфраструктуры сельского хозяйства, таких как ресурсных центров, обрабатывающих центров, центров сбыта.

Задачи оценки земли могут быть разными. Они разнятся в зависимости от области исследования, в рамках которой ставится задача. Так, например, для агрономических целей ставится задача оценки эффективности использования земель для возделывания определенных культур, а для экологических – оценка экологического состояния территорий. Поэтому для каждой задачи требуется применение своей конкретной системы показателей. Задача оценки земли является междисциплинарной и решается специалистами разных областей. В связи с этим, предлагается создать такую многоцелевую систему, в которой

будут храниться и пополняться знания из разных областей, необходимые при создании решения для конкретной задачи.

Поэтому актуальна разработка новых интеллектуальных моделей и методов многокритериальной оценки земельных ресурсов, как информационной основы для организации системы поддержки принятия решений в области управления территориями аграрной специализации на основе привлечения геопространственной информации (ГПИ).

Цель работы состоит в разработке методического и программного обеспечения информационной поддержки принятия решений ЛПР в области управления территориями аграрной специализации на основе анализа геопространственной информации.

Для достижения цели исследования определены следующие задачи:

- 1) анализ предметной области;
- 2) разработка методики расчета оценки состояния ЗСХН;
- 3) прототипирование модуля расчета оценок системы поддержки принятия решения многокритериальной оценки состояния ЗСХН.

1 Анализ предметной области

1.1 Исследование методов и технологий построения пространственно-ориентированных систем поддержки принятия решений

Система поддержки принятия решений предназначена для поддержки многокритериальных решений в сложной информационной среде. При этом под многокритериальностью понимается тот факт, что результаты принимаемых решений оцениваются не по одному, а по системе показателей (критериев) рассматриваемых одновременно. Информационная сложность определяется необходимостью учета большого объема данных, обработка которых без помощи современной вычислительной техники практически невыполнима.

Объекты пространственно-ориентированных систем содержат пространственную информацию. Она содержит метрическую часть, описывающую позиционные свойства объектов, а также атрибутивные данные, которые представляют собой совокупность непозиционных характеристик (атрибутов) пространственного объекта. Атрибутивные данные определяют смысловое содержание (семантику) объекта и могут содержать качественные или количественные значения.

В исследуемой информационной среде объектами выступают земли сельскохозяйственного назначения, которые содержат пространственную информацию об объектах, характеризующую его местоположение на поверхности Земли, и атрибутивную информацию, в качестве которой выступают физические показатели, такие как показатели агрохимического состава почвы, расстояние до открытой воды, до места переработки, площадь сельскохозяйственной земли, уклон рельефа и др. Для построения пространственно-ориентированной систем поддержки принятия решений для управления землями сельскохозяйственного назначения проведен анализ существующих подходов и методов построения подобных систем.

При построении СППР существует необходимость в привлечении экспертных знаний в исследуемой области. В ряде случаев, знания могут быть представлены в форме экспертных оценок, с помощью которых можно ранжировать элементы системы по конкретным признакам. В работе [11], весовые коэффициенты установлены экспертным комитетом и приведены в таблицу, в соотношении со значением расчетного индекса. Автор работы [12] в исследовании использует экспертный метод парных сравнений. Его выбор обусловлен простотой проведения экспертизы и достоверными результатами экспертного анализа. В работах [13-14] исследователи используют такой метод экспертных оценок, как метод анализа иерархий. Суть метода в том, что после построения иерархии элементов, эксперту необходимо задать парные сравнения всех элементов, с целью выявления наиболее важного элемента из пары для поставленной задачи. При применении этого метода весовые коэффициенты являются динамичными величинами и зависят от решаемой задачи. Недостатком этого метода является то, что он предусматривает в качестве входных данных только задание вручную парных сравнений всех объектов иерархии, что является невозможным при больших количествах элементов иерархии. Авторы [13] для решения этой проблемы модифицировали метод анализа иерархий, при котором осуществилась возможность подключения и обработки в системе внешних таблиц, где в качестве исходных данных для расчета локальных приоритетов альтернатив выступают данные из внешней таблицы, между именами полей которой и вершинами иерархии определено соответствие-привязка. Авторы работы [14] применяют метод свинг (swing), где оценки по каждому атрибуту для альтернатив варьируется от 0 до 1. В работе [15] автор предлагает так же использовать метод Дельфи, главными особенностями которого выступает анонимность, многоуровневость и заочность участия экспертов, обосновывая это тем, что некоторая группа независимых экспертов гораздо лучше может оценить и предсказать результат, нежели структурированная группа людей.

Представления атрибутивной информации об объектах, оцениваемой при решении поставленных задач в системах [13-14, 18] осуществляют в виде иерархических структур.

В работах [15, 19], в качестве одного из наиболее перспективных подходов к извлечению экспертных знаний, отмечается подход, основанный на применении нечетких когнитивных карт. Эксперту предлагается построить субъективную модель рассматриваемой проблемы в виде графовой структуры, отражающей характер влияния между основными факторами и степень этого влияния, выраженного с использованием нечетких множеств. При этом эксперты могут проводить оценку на привычном естественном языке, указывая степень влияния факторов («влияние отсутствует», «слабое», «среднее», «сильное», «максимально возможное»), которые будут переведены в специальные формализованные нечеткие значения. С помощью этого подхода можно избежать проблемы измерения свойств, которые не всегда могут заданы в явной числовой шкале. Анализ представленных значений в форме нечетких множеств может осуществляться с помощью аппарата нечетких множеств, в результате чего можно получить количественные значения. Это позволяет проанализировать систему в контексте причинно-следственных связей.

В задачах прогнозирования влияния одного признака на другой, анализа поведения признака во времени, взаимодействия признаков, в работе [15] предлагают использовать регрессионный анализ. Так же для получения прогноза аварийных ситуаций на ближайшие сутки, в работе [19] автор предлагает построить уравнение тренда.

В работах [14, 16-17] разработаны СППР в виде web-приложения с сервис-ориентированной архитектурой. Выбранная архитектура позволяет организовывать многопользовательский доступ к системе, обеспечивает централизованное хранение, обработку и предоставление пространственно-координированных данных в сети Интернет для удаленных пользователей, решающих задачи справочно-информационного, справочно-аналитического

обслуживания, визуально-картографического представления цифровых геоданных.

Модульность систем в работах [11, 16-20] обеспечивает надежность системы, возможность расширения системы путем добавления новых модулей без изменения имевшихся, а также в этих системах каждый модуль отвечает за определенные ее функции.

Представление и оперирование пространственной информацией невозможно без использования геоинформационных систем (ГИС). В работах [11, 13, 19] разработаны геоинформационные системы со встроенными модулями, использующие методы и модели систем поддержки принятия решений. В работах [12, 14-18, 20], разработанные СППР интегрированы с ГИС. В работе [14] система состоит из трех интегрируемых подсистем: ГИС, средства многокритериального анализа решений (МКАР), а также модели для решения конкретных задач, в т. ч. с использованием соответствующих баз данных и карт, где ГИС и МКАР подсистемы могут также функционировать как автономные системы.

В работе [21] утверждается, что при решении задач планирования территорий, СППР должны строиться с учетом особенностей процесса планирования территорий и авторами предлагается для этого интегрировать систему управления бизнес-процессами и геоинформационные веб-сервисы. Отмечается, что данный подход к построению СППР позволит улучшить текущий процесс планирования с точки зрения взаимодействия исполнителей и повысить прозрачность процесса.

1.2 Методы и модели оценки земель сельскохозяйственного назначения

Проделанный анализ методов и моделей ЗСХН сотрудниками научно-учебной лаборатории института космических и информационных технологий (НУЛ ИКИТ) наиболее подробно представлен в работе [22].

Из проведенного анализа выделено, что рассмотренные методы и модели в работах [1-10, 23-37] условно можно разделить на две группы, где первая группа оценивает статическое состояние ЗСХН, а вторая группа — динамику изменения ЗСХН.

Модели и методы, оценивающие статическое состояние ЗСХН решают такие прикладные задачи, как проведение эффективного налогообложения, посредством получения достоверной информации о состоянии земли, а также рациональное управление земельными ресурсами. Оценка текущего состояния залежных земель с целью их дальнейшего рекультивирования также является задачей оценки состояния ЗСХН.

В работах [5, 23, 3, 6, 27, 30, 33-36] описаны группы критериев, которые могут быть задействованы в расчете оценки ЗСХН, а также методы их измерения. Метод балльной оценки находит широкое применение в оценке земельного потенциала, как показано в работах [5-8, 12, 23]. В работе [36] для того чтобы определить подходящий участок для посадки сельскохозяйственных культур, пригодность обрабатываемых земель, автор оценивал земли с помощью модели пригодности и ГИС. Индексы оценок выбрались с точки зрения природных, экономических и социальных факторов. Другим востребованным практическим приложением задачи оценки состояния ЗСХН является оценка состояния залежных земель с целью их дальнейшей рекультивации. В работе [37], земельные ресурсы оцениваются с помощью метода главных компонент и кластерного анализа. Интенсивность использования сельскохозяйственных земель через анализ главных компонент и кластерного анализа была исследована, чтобы определить ее характеристики и типы, с помощью перевода социально-экономических данных в солнечную энергии путем преобразования факторов. В районах исследования были выявлены четыре индекса входной интенсивности сельского хозяйства и шесть индексов выходной интенсивности. Эти компоненты были объединены для индекса входной интенсивности и выходной интенсивности, соответственно. Шесть видов сельскохозяйственной интенсивности были идентифицированы с

помощью метода *K*-средних кластерного анализа с использованием индексов интенсивности. В работе [1] рассмотрен принцип анализа и районирования залежей. Ранжирование залежей осуществляется с помощью классификации земель по параметру, связанному с оптимальным типом землепользования. Для оценки качества залежей учитывались два компонента: диапазон минимальных расстояний до открытой воды и значения вегетационного индекса WDI в период максимума зеленой биомассы.

Модели и методы, оценивающие динамику изменения ЗСХН, решают задачи управления: создание моделей севооборота и их соблюдение; отражение динамики имущественных отношений и использования земель.

Среди моделей и методов, оценивающие состояние ЗСХН в динамике выделяют модели сезонной и межгодовой динамики объектов оценки. Сезонная динамика ЗСХН связана с вегетацией, урожайностью, и агротехническими мероприятиями. Для прогнозирования и оценки роста растений в процессе вегетации используются следующие группы методов: методы, основанные на использовании вегетационных индексов; методы моделирования, ориентированные на конкретную культуру; методы, ориентированные на обнаружение аномалий. Среди методов, основанных на использовании вегетационных индексов, применяют метод года-аналога, как отражено в работе [31]. Методы, ориентированные на обнаружение аномалий, помогают вовремя принять управленческие решения, например, предсказать по индексу NDVI засуху полей, переувлажненность. Задача прогнозирования урожайности решается обычно на основе мониторинга климатического и агротехнического фона [10]. Каждой культуре определяется программа проведения агротехнических мероприятий и сроки ее проведения с учетом климатических условий исследуемой местности. Модели и методы межгодовой динамики в свою очередь обеспечивают наполнение баз данных и анализ этих данных.

Таким образом, отмечается, что в работах исследователей сформировалось мнение, что оценка земель строится на основе иерархической декомпозиции системы признаков, описывающей объекты оценки, притом

системы признаков разнятся в зависимости от решаемых задач и климатических условий исследуемой территории. Также в работах отмечено, что при оценивании земель приводят вычислительные соотношения для формирования указанной оценки. Однако, в рассмотренных работах не содержится информации о том, каким способом осуществляется сбор первичных данных для расчета итоговых оценок.

1.3 Система знаний об оцениваемом объекте

В рамках функциональной структуры СППР предлагается способ формирования библиотеки схем решения задач в диалоге с ЛПР, разработанный сотрудниками научно-учебной лаборатории института космических и информационных технологий (НУЛ ИКИТ), базирующийся на системе упорядочения знаний экспертов о землях сельскохозяйственного назначения как об объектах, инвариантной к конкретной решаемой задаче.

Разработан комплекс, состоящий из двух компонент:

- 1) системы знаний о характеристиках ЗСХН и методах их измерений;
- 2) множеств параметров, использованных для решения поставленных задач.

Система знаний об объекте оценки задается следующими множествами:

$$O = \langle K, T, E, M \rangle, \quad (1)$$

где K — таксономия показателей земельных ресурсов;

T — множество решаемых задач;

E — множество метрик оценки признаков;

M — множество первичных метрик, позволяющих вычислить численное значение признака в натуральном выражении.

В основе рассматриваемой модели лежит таксономия показателей агроэкономического потенциала земель (ТПАПЗ) [38], которая может изменяться экспертом на этапе формирования экземпляра решаемой задачи:

$$K = \langle N, R \rangle, \quad (2)$$

где $N = \{n_i\}$ — множество классов таксономии-признаков объектов оценки;

$R \subset N \times N$ — отношение порядка на N .

Корневая вершина таксономического дерева соответствует искомой интегральной характеристике объекта оценки.

На первом этапе построения системы знаний об объекте оценки формируется верхний уровень таксономии, который в данном случае задан шестью классами признаков, исчерпывающим образом описывающими предметную область (рисунок 1).



Рисунок 1 — Структура верхнего уровня таксономии признаков оценки

Рассмотрим подробно каждый класс верхнего уровня таксономии:

1) факторы рельефа (ФР). Этот класс образуют показатели, характеризующие объект оценки, как геопространственный объект, имеющий свой контур, форму, высоту над уровнем моря, экспозицию, уклон рельефа, площадь и др.;

2) природно-климатические условия (ПкУ), такие как температура почв, средняя температуры воздуха, количество атмосферных осадков, увлажнённость почв, ветровая нагрузка и др., оказывают достаточное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур, эффективность проведения агротехнических мероприятий и их затраты, а также накладывают рамки на выращивание определенных культур;

3) агроэкономические факторы, обусловленные использованием земель (АЭФОИЗ), определяются урожайностью, доходом, получаемые с рассматриваемого участка, а также инвестициями, произведенными на этом объекте;

4) свойства почвы (СП). Этот класс показателей влияет на плодородие почвы, а значит на урожайность и продуктивность ЗСХН. В него входят такие показатели, как процентное содержание гумуса, ионообменного калия, подвижного фосфора, азота, а также кислотность почвы, содержание каменистых фракций и др.;

5) растительный покров (РП). В этот класс входят показатели, информирующие о выращиваемой культуре на исследуемом земельном участке, а также определяющие засоренность территории травянистой и древесно-кустарниковой растительностью;

6) эффективное расстояние до объектов инфраструктуры (ОИ). Этот класс образуют показатели, отвечающие за расстояние от объекта оценки до объектов инфраструктуры: населенных пунктов, мест переработки, линий электропередач, открытой воды и др.

Следующим шагом построения таксономии происходит иерархическая декомпозиция, в ходе которой формируется структура описания каждой

области. На примере из рисунка 2, видно, что для области «Свойства почвы» раскрываются следующие основные группы признаков: гранулометрические характеристики, минералогические характеристики, химический состав почв, свойства почвенного раствора, физические и физико-механические свойства почв, кислотность и щелочность почв, поглотительная способность почв, биологические свойства почв, водные свойства почв.

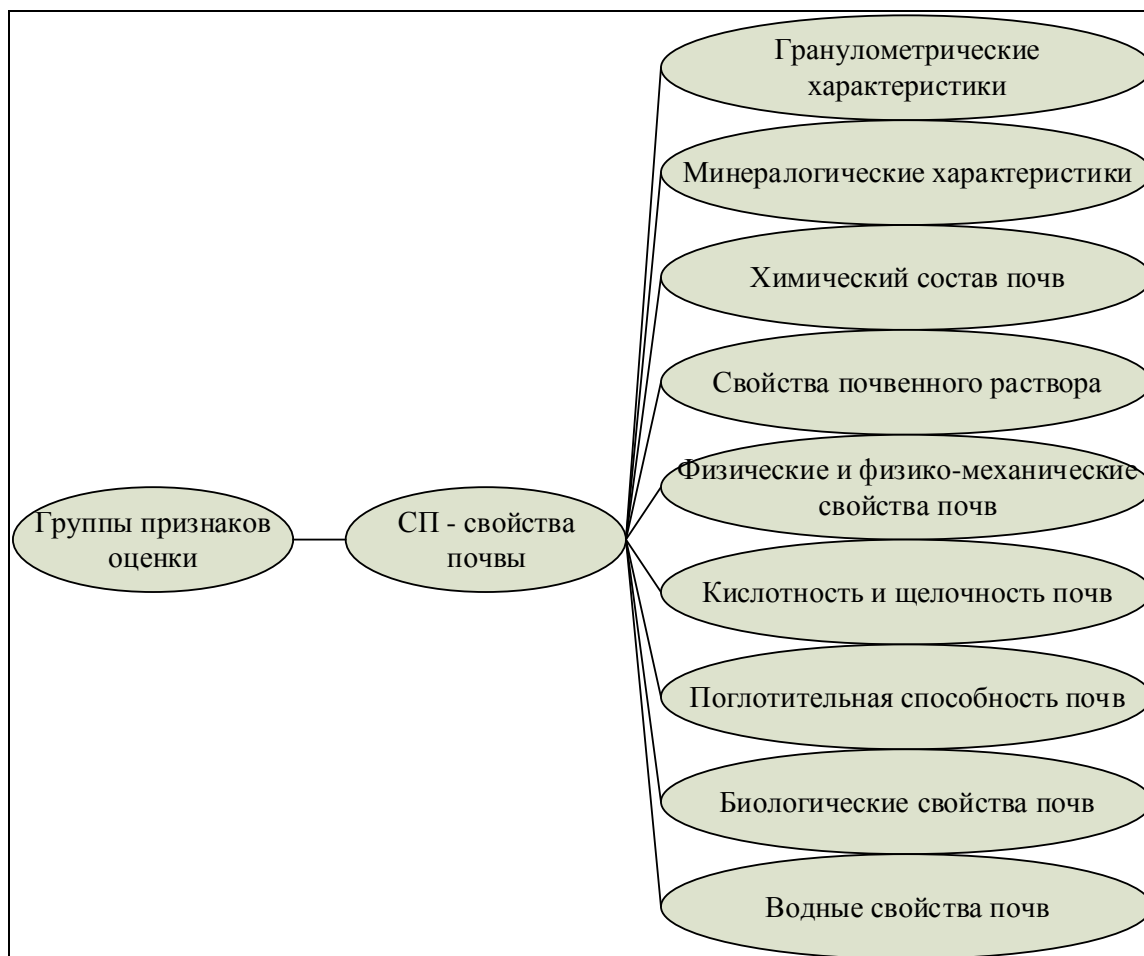


Рисунок 2 — Структура области «Свойства почвы»

Далее, на следующем и последующих уровнях, для каждой вершины дерева возможно дальнейшее «раскрытие» в ходе которого образуются соответствующие поддеревья таксономии различной глубины, а для вершин указываются способ измерения значения и правила применения управляющих действий. Так, для вершины «химический состав» определяются зависимости содержания гумуса и действия, связанные с внесением удобрений.

Информация, на основе которой формируются поддереьев берется из отраслевых справочников, из анализа научной литературы, а также авторских исследований. «Раскрытие» вершин происходит до того уровня, когда будет возможность описать для вершины формально определенную вычислительную процедуру, позволяющую сопоставить объекту оценки значение соответствующего признака.

Вершины поддереьев классифицированы следующим образом: абстрактные вершины; означиваемые вершины. Абстрактными вершинами выступают вершины, использованные при классификации и навигации по таксономии оценивания агроэкономического потенциала земель, для которых не предусмотрена процедура вычисления оценки. Означиваемые вершины – вершины, для которых существует формально определенная процедура, позволяющая сопоставить объекту оценивания значение соответствующего признака. Все листовые вершины дерева таксономии являются означиваемыми.

Заключительным этапом формирования системы знаний об объекте оценки является формирование вычислительных процедур для расчета оценок (означивания) листовых вершин, основанных на измерении натуральных параметров объекта оценки.

Для узлов ветвления в общем случае предлагается два способа расчета оценок:

- 1) означивание на основе измерений;
- 2) означивание на основе агрегации.

Первый способ является аналогичным способу, определенному для листовой вершины, когда с помощью вычислительных процедур на основе измерений натуральных параметров рассчитываются оценки узлов ветвления. Второй способ основывается на агрегации параметров, ранее вычисленных для дочерних вершин данного узла.

Использование этих способов дает возможность осуществлять оценку объекта оценки с разной степенью точности в зависимости от особенностей решаемой задачи, способа получения данных и т. п.

Для измерения натуральных параметров используются первичные метрики, представленные в формуле (1) множеством M . Отдельная метрика $m_i \in M$ представляет собой функциональное свойство, сопоставленное соответствующему узлу $n_j \in N$, для которого установлены интервал допустимых значений и единица измерения. Так, содержание гумуса в почве может измеряться в процентах, площадь объекта оценки — в гектарах, расстояние до места переработки — в километрах и т. д. Каждой из метрик сопоставляется диапазон допустимых значений.

Для означивания на основе измерений натуральных параметров представлено множество метрик оценки $E_m \subset E$, также заданных в форме функциональных свойств $e_j \in E_m$, сопоставленных узлу n_j . Для e_j определена функциональная зависимость, позволяющая вычислить численное значение признака n_i на основе значения первичной метрики m_j . Роль метрик оценки, образующих множество E , заключается в интерпретации значений первичных метрик для решения поставленной задачи.

Для означивания на основе агрегации представлено множество метрик оценки $E_a \subset E$; $E = E_m \cup E_a$; $E_m \cap E_a = \emptyset$.

Отдельная метрика e_i описывается:

1) функциональным свойством, соотносящим e_i оцениваемому признаку n_j ;

2) взвешенным деревом агрегации глубины 1 с корневой вершиной e_i и множеством вершин — метрик оценивания, инцидентных элементам подмножества X множества дочерних вершин Y вершины n_j в таксономии. Веса дуги дерева характеризуют степень влияния оценки соответствующей дочерней вершины на оценку корневой вершины;

3) вычислительной процедурой, позволяющей вычислить оценку e_i для признака n_j на основе агрегации значений оценок узлов $x_l \in X$ и весов дуг дерева агрегации.

Таким образом, модель поставленной задачи t_j задает множество T задач, представленных в таксономии показателей агроэкономического потенциала земель. Структура описания задачи t_i аналогична структуре ТПАПЗ:

$$t_i = \langle K_i, E_i, M_i \rangle, \quad (3)$$

где $K_i \subset K$ — подграф таксономии, соответствующий решаемой задаче;

$M_i \subset M$ — множество первичных метрик, релевантных задаче оценки;

E_i — множество метрик объекта оценки.

В качестве E_i может выступать подмножество E .

1.4 Вывод по главе 1

В первой главе проведен обзор методов, моделей и технологий, используемых при построении систем поддержки принятия решения для оценки земельных ресурсов. Также в главе описан подход построения системы знаний об объекте оценивания, который базируется на системе упорядочения знаний экспертов о землях сельскохозяйственного назначения как об объектах, инвариантной к конкретной решаемой задаче. При построении пространственно-ориентированных систем поддержки принятия существует необходимость в привлечении экспертных знаний в исследуемой области. В рассмотренных работах приводится ряд методов извлечения экспертных знаний, которые могут быть использованы в дальнейших исследованиях. На сегодняшний день, исходя из проведенного обзора, разработка пространственно-ориентированных систем поддержки принятия в виде настольных приложений также актуальна, как разработка их в виде web-приложений. Необходимо отметить, что модульный принцип построения СППР используется в большинстве рассмотренных работ. Также, наиболее часто создают интеграцию разрабатываемой СППР с ГИС, для представления и оперирования геопространственной информацией, нежели разрабатывают модуль СППР в существующей ГИС.

Исходя из проведенного обзора методов и моделей оценки ЗСХН, выявлено, что оценка земельного ресурса, в зависимости от поставленной задачи, физически интерпретируется, как балл бонитета, рыночная или кадастровая стоимость, степень пригодности участка для с/х производства и др.

Для получения оценки ЗСХН необходимо учесть знания в различных областях: геоботанике, экономике, экологии, сельском хозяйстве, почвоведении, растениеводстве, геопространственного анализа и др. Оценка земельных ресурсов строится на базе иерархической декомпозиции системы признаков и вычислительных процедур, позволяющих рассчитать указанную оценку.

На основе рассмотренных работ принято решения разрабатывать СППР в виде web-приложения с сервис-ориентированной архитектурой, используя модульный принцип построения, что обеспечит оперативный, удобный, многопользовательский доступ, а также надежность системы, и возможность ее расширения посредством внедрения новых модулей. Исходя из проведенного обзора методов и моделей оценки ЗСХН актуальна разработка новых интеллектуальных моделей и методов многокритериальной оценки ЗСХН, как информационной основы для организации систем поддержки принятия решений в области управления территориями аграрной специализации на основе привлечения геопространственной информации (ГПИ), которые будут позволять формировать системы используемых показателей в виде иерархических структур, создавать вычислительные процедуры для расчета итоговых оценок.

2 Разработка методики расчета многокритериальной оценки состояния земель сельскохозяйственного назначения

Управление сельскохозяйственными землями при отсутствии механизма объективной и актуальной оценки их состояния может привести к неверному выбору модели севооборота, неоптимальному отбору полей для производства культур, завышенному расходу материальных запасов — таких, как удобрение, ГСМ и т. д.

Разработанная методика расчета многокритериальной оценки состояния ЗСХН на основе сформированной экспертами системы показателей внедрена в разработанную СППР и состоит из 9 основных этапов (рисунок 3). Методика базируется на использовании СППР, БЗ экспертов и подсистемы загрузки геопространственной информации по выбранным сельскохозяйственным контурам из ГИС «Система агромониторинга» в базе данных системы.

Первый этап методики заключается в формализованной постановке задачи ЛПР в диалоговом режиме с системой. В случае, если задача решается повторно, а именно в системе существует схема решения данной задачи, то осуществляется переход на этап загрузки первичных метрик. Формировании новой схемы решения задачи осуществляется поэтапно модулем системы «генератор СРЗ».

В примере рассмотрено решение задачи оценки эффективности использования земель для возделывания зерновых культур в Сухобузимском районе Красноярского края.

На втором этапе методики осуществляется формирование вычислительной процедуры. Главный эксперт формирует систему существенных показателей на основе базовой таксономической модели для решаемой задачи. С помощью инструментов редактирования СРЗ и БЗ система показателей может изменяться под конкретную решаемую задачу.

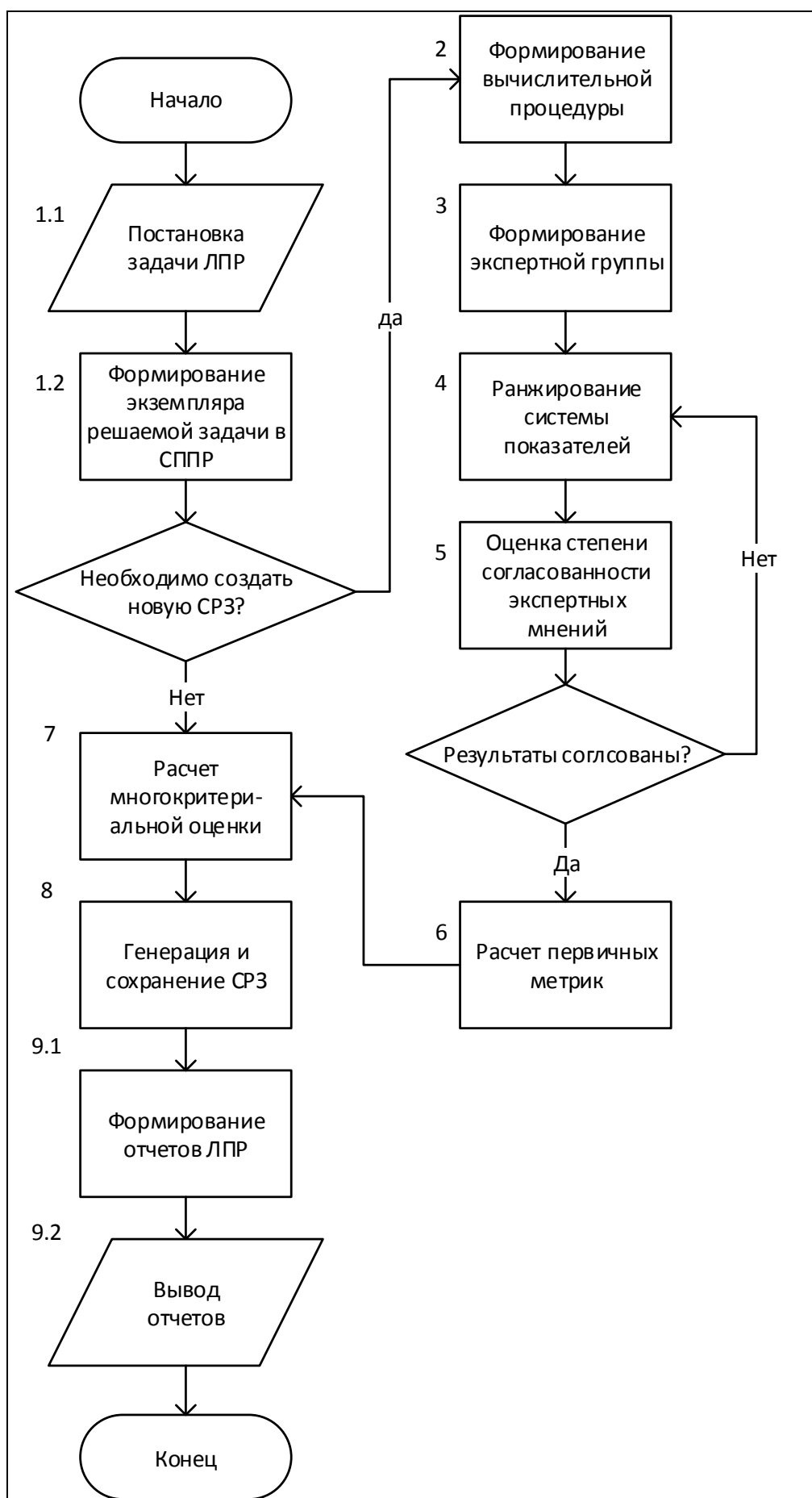


Рисунок 3 — Блок-схема расчета многокритериальной оценки состояния ЗСХН

Целью этапа является формирование кортежа показателей $F = \{f_i\}$, релевантных цели выполнения оценок, а также уточнение способа вычисления для каждого $f_i \in F$. Этап осуществляется в ходе диалоге между экспертом и СППР.

Для решения задачи пригодности земель для выращивания зерновых культур приведена система показателей. В системе выделены такие группы показателей оценки: факторы рельефа (ФР); природно-климатические условия (ПкУ); агроэкономические факторы, обусловленные использованием земель (АЭФОИЗ); свойства почвы (СП); растительный покров (РП); приведенное расстояние до объектов инфраструктуры (ОИ).

На рисунке 4 представлен итог работы главного эксперта на этапе выявления существенных показателей для решения поставленной задачи. Такими показателями являются: содержание гумуса (СП1), кислотность (СП5), фактор формы (ФР1), уклон рельефа (ФР5), площадь (ФР6), до населенного пункта (ОИ2), до места переработки (ОИЗ).

Также определяются шкалы измерения показателей (первичная метрика), задается метрика оценки измерения и определяется вычислительная процедура перерасчета первичной метрики в метрику оценки. Данными первичной метрики выступают физические параметры показателей. Данные метрики оценки нормированы в интервале от 0 до 1.

На третьем этапе формируется экспертная группа. Для формирования использованы элементы метода «снежный ком». Выбор участников комитета осуществляется главным экспертом из наиболее авторитетных специалистов в предметной области. Достоинствами этого метода являются высокая полнота достоверность ответов, высокая скорость проведения работ, а также возможность охватить всех специалистов с достаточной компетентностью в предмете экспертизы. Для оценки согласованности экспертных мнений использован коэффициент конкордации.

Группы оцениваемых критериев					
СП	ПкУ	ФР	ЭФОИЗ	ОИ	РП
СП1 - содержание гумуса		ФР1 - фактор формы		ОИ1 - до открытой воды	
СП2 - содержание ионообменного калия		ФР2 - контурность		ОИ2 - до населенного пункта	
СП3 - содержание подвижного фосфора		ФР3 - высота над уровнем моря		ОИ3 - до места переработки	
СП4 - содержание азота		ФР4 - нормализованная экспозиция		ОИ4 - до ЛЭП	
СП5 - кислотность		ФР5 - уклон рельефа		ОИ5 - до дороги с твердым покрытием	
СП6 - содержание каменистых фракций		ФР6 - площадь		ОИ6 - до асфальтированной дороги	
СП7 - размер элементов каменистых фракций		ФР7 - количество понижений рельефа		***	
СП8 - содержание глины		ФР8 - минимальный размер понижений			
***		ФР9 - максимальный размер понижений			
		ФР10 - минимальная глубина понижений			
		ФР11 - максимальная глубина понижений			
		ФР12 - площадь поверхностной эрозии			

Рисунок 4 — Система показателей для расчета многокритериальной оценки

Формирование экспертной группы обычно осуществляется в два этапа. В первом этапе формируется список возможных экспертов, каждый

приглашенный эксперт рекомендует, кого еще можно опросить. Формирование списка заканчивается, когда в нем прекращают появляться новые фамилии. На втором этапе выбирается экспертная комиссия из числа экспертов в соответствии с компетентностью кандидатов. К работе привлекаются наиболее подготовленные и высокопрофессиональные специалисты, обладающие соответствующим опытом и компетенциями.

Необходимо также отметить, что слишком малое количество экспертов в экспертной группе приводит к недостоверным и необъективным результатам, а слишком большое – к проблемам организационного характера и согласованности экспертных мнений. Исходя из исследований [39-41] было принято решение, включить в экспертную группу 10 экспертов, что является наиболее усредненным, оптимальным и часто использованным вариантом.

На четвертом этапе методики происходит ранжирование элементов системы существенных показателей по степени их важности для решаемой задачи с помощью экспертных оценок. Экспертный опрос проводится в один тур путем одноразового заполнения анкеты. Для проведения ранжирования используется информация, которая получена посредством анкетирования экспертов. Каждому эксперту выдается анкета со списком существенных показателей. В этой анкете специалист выставляет ранг каждому показателю, тем самым выделяя менее важные и более важные из них для решения поставленной задачи.

Исходя из сути метода ранжирования, ранг 1 присваивается наименее важному показателю, соответственно, ранг *max* (общее количество выбранных показателей) — наиболее значимому показателю. Если эксперт считает уровни важности нескольких показателей эквивалентными, то им присваивается одинаковый ранг. После обработки анкет формируется сводная таблица 1.

Таблица 1 — Сводная таблица ранговых значений показателей

Эксперты	Ранги показателей						
	СП1	СП5	ОИ2	ОИ3	ФР1	ФР5	ФР6
Эксперт 1	7	5	4	3	1	6	2
Эксперт 2	6	7	4	3	1	5	2
Эксперт 3	7	4	5	1	2	6	3
Эксперт 4	5	6	4	2	1	7	3
Эксперт 5	7	6	4	3	1	5	2
Эксперт 6	7	4	5	2	1	6	3
Эксперт 7	7	5	4	2	1	6	3
Эксперт 8	6	7	5	3	1	4	2
Эксперт 9	7	4	5	3	1	6	2
Эксперт 10	7	5	2	1	3	6	4
$\sum x_i$	66	53	42	23	13	57	26
Δ	26	13	2	-17	-27	17	-14
Δ^2	676	169	4	289	729	289	196
Коэффициент важности (k_i)	0,24	0,19	0,15	0,08	0,05	0,20	0,09

Для каждого показателя рассчитывается сумма рангов $\sum x_i$, отклонение по средней сумме рангов Δ , и квадрат отклонений сумм рангов Δ^2 и коэффициент важности k_i , который исходя из метода ранжирования вычисляется как отношения суммы рангов показателя к общей сумме рангов всех показателей. В итоге рассчитывается сумма квадратов отклонения $\sum \Delta^2$, которая в данном случае равна 2352, которая используется при расчетах коэффициента конкордации.

На пятом этапе методики происходит расчет коэффициента конкордации Кендалла W по формуле 4, значение которого позволит оценить степень согласованности мнений экспертов:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} m^2 (n^3 - n)} \quad (4)$$

где S — сумма квадратов отклонения;

m — количество экспертов;

n — количество показателей.

Рассчитанное значение коэффициента конкордации Кендалла $W = 0,84$. Принято считать, что высокая степень согласованности достигается при $W > 0,8$. В данном случае $W = 0,84$ что говорит о наличии высокой степени согласованности экспертных мнений.

Существенность коэффициента конкордации оценивается критерием согласования Пирсона X^2 по формуле 5:

$$X^2 = \frac{S}{\frac{1}{12}mn(n+1)} \quad (5)$$

В итоге получили, что $X^2 = 50,4$. При сравнении фактического значения 50,4 уровень значимости α для сельскохозяйственных расчетов принимаем равным 0,01, а число степеней свободы — 5. Поскольку рассчитанное нами $X^2_{\text{ФАКТ}} > X^2_{\text{ТАБЛ}}$ ($50,4 > 15,1$), то очевидно, что число наблюдений является достаточным для того, чтобы признать значение коэффициента конкордации существенным и значимым, а значит полученные значения весовых коэффициентов можно считать достоверными. В случае отсутствия высокой степени согласованности экспертных мнений, необходимо вернуться на четвертый этап методики и повторить ранжирование показателей.

На шестом этапе методики осуществляется расчет первичных метрик и метрик оценок на примере выборки сельскохозяйственных объектов (полей), представленной ЛПР, на основе сформированной системы показателей.

В таблице 2 отображены данные первичных метрик. Значения первичных метрик загружаются из ГИС «Система агромониторинга» и могут редактироваться экспертом с помощью модуля редактирования информации в БД СППР.

В таксономии признаков оценки состояния ЗСХН для каждой из листовых вершин задаются две метрики: первичная метрика — результат натурного измерения признака и метрика для оценки результата измерения.

Таблица 2 — Данные первичной метрики для выбранных объектов

Номер поля	Показатель						
	СП1, %	СП5, рН	ОИ2, Км	ОИ3, Км	ФР1, балл	ФР5, Градус	ФР6, га
88	8,3	5,5	10,7	11,0	0,8	2,0	65,0
89	8,2	7,0	10,0	11,0	0,8	1,0	78,0
91	7,0	8,0	8,0	10,0	0,8	2,0	80,0
92	7,5	8,0	7,0	10,0	0,7	2,0	96,0
144	8,4	7,0	6,0	7,0	0,7	1,0	74,0
145	6,6	7,0	6,5	7,5	0,8	2,0	76,0
146	7,6	6,0	7,2	8,2	0,8	2,0	95,0
148	2,1	5,0	7,8	8,8	0,8	2,0	135,0

Для простоты оперирования шкалы всех метрик итоговой оценки нормированы в диапазоне от 0 до 1.

Поскольку зависимость величин значений первичной метрики и метрики оценки является линейной, то расчетная формула для вычисления значения показателей выражается с помощью линейной функции:

$$y = kx + b \quad (6)$$

Так, показатель СП1 – содержание гумуса, измеряется в процентном содержании от веса почвы. Согласно данным, приведенным в статье [42], для черноземных почв содержание гумуса равно 10 %. Исходя из этого, за 1 принято содержание 10 % гумуса в почве, за 0 – содержание в почве 0 % гумуса, т. е. его полное отсутствие. Таким образом, показатель содержания гумуса будет соответствовать линейной функции $y = 0,1x$.

На примере выявления шкалы нормирования для показателя ФР1 – фактор формы, показан интервальный подход. Разбивка полей на определенные геометрические формы заключается в установлении их площади, формы и размеров сторон, исходя из требований правильной организации рабочих процессов и наиболее производительного использования сельскохозяйственной техники. Исходя из этого, сельскохозяйственные поля имеют predetermined значения фактора формы: прямоугольная, трапециевидная, треугольная и неправильная геометрическая форма. Поля с правильной

прямоугольной формой имеют значение на шкале нормализации равное 1, неправильной геометрической формы — 0, соответствующие интервалы заданы в следующих диапазонах: [0–0,4[, [0,4–0,6[, [0,6–0,8[, [0,8–1] (соответственно, «неправильная форма», «треугольная», «трапециевидная», «прямоугольная»).

Таким образом, опираясь на справочную информацию, результаты анализов научной литературы. для каждого показателя описана формула перерасчета значений первичных метрик в метрику оценки результатов измерений.

В таблице 3 показаны результаты вычисления оценок результатов измерений по шкале нормализации для указанной выборки полей.

Таблица 3 — Данные метрики оценки результатов измерений

Номер поля	Показатель						
	СП1, балл	СП5, балл	ОИ2, балл	ОИ3, балл	ФР1, балл	ФР5, балл	ФР6, балл
88	0,80	0,60	0,80	0,80	0,80	0,60	0,30
89	0,80	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,40
91	0,70	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,40
92	0,80	0,80	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50
144	0,80	1,00	0,90	0,90	0,70	0,80	0,40
145	0,70	1,00	0,90	0,90	0,80	0,60	0,40
146	0,80	0,80	0,90	0,80	0,80	0,60	0,50
148	0,20	0,50	0,80	0,80	0,80	0,60	0,70

На седьмом этапе методики осуществляется расчет многокритериальных оценок для каждого сельскохозяйственного объект (СХО) в представленной ЛПР выборке, суть которого заключается в расчете интегрального критерия на основе объединения отдельных оценок по каждому фактору. В методике задана базовая расчетная формула получения оценки сельскохозяйственных объектов. Оценка сельскохозяйственных объектов определяется линейной комбинации значений оцениваемых показателей:

$$f(O) = \sum_{i=1}^n k_i \cdot f_i(\text{СХО}) \quad (7)$$

где $O(CXO)$ — многокритериальная оценка состояния CXO;

f_i — значение i -го показателя, нормированное по шкале нормализации;

k_i — коэффициент важности показателя;

n — количество показателей, использующихся при оценке.

Полученные коэффициенты важности на четвертом этапе методики подставляются в расчетную формулу 4. Исходя из этого, формула расчета многокритериального показателя для сформированной системы показателей оценки состояния ЗСХН будет следующей:

$$O(CXO) = 0,24f_1 + 0,19f_2 + 0,15f_3 + 0,08f_4 + 0,05f_5 + 0,2f_6 + 0,09f_7 \quad (8)$$

где $O(CXO)$ — многокритериальная оценка состояния CXO;

f_i — значение i -го показателя, нормированное по шкале нормализации;

n — количество показателей, использующихся при оценке.

На восьмом этапе осуществляется генерация и сохранение СРЗ для сформированной версии БЗ.

При формировании схемы решения задачи строится дерево классификации признаков оценки F , показанное на рисунке 5, где f_1 — содержание гумуса; f_2 — кислотность; f_3 — расстояние до населенного пункта; f_4 — расстояние до центра переработки; f_5 — фактор формы земельного участка; f_6 — уклон рельефа; f_7 — площадь земельного участка.

Каждой из листовых вершин дерева СРЗ (рисунок 5) установлено в соответствие функциональное свойство $m_i \in M$, характеризующее численное значение, единицу измерения и допустимый диапазон значений соответствующей первичной метрики, и функциональное свойство $e_i \in E$, определяющее способ вычисления оценки. Все функциональные зависимости e_i отображают измеримый интервал значений первичных метрик в диапазоне от 0 до 1. При этом используются аналитически либо таблично заданные функции преобразования.

На девятом этапе методики модулем «интерфейс расчетчика» формируется таблица-отчет с итоговыми данными по выбранным СХО (таблица 4).

Таблица 4 — Сформированная таблица-отчет с итоговыми данными

№ СХО	O(СХО), отн. Ед	$\Delta O(СХО)$ отн. ед	УР(СХО), ц/га	$\Delta УР(СХО)$, ц/га	СТ(УР), руб./га	$\Delta СТ(УР)$ руб./га
144	0,82	0,09	31,20	8,20	34 320,00	9 020,00
89	0,802	0,01	31,50	8,50	34 650,00	9 350,00
145	0,761	0,01	17,90	-5,10	19 690,00	-5 610,00
146	0,748	0,01	22,20	0,80	24 420,00	-880,00
92	0,743	0,01	18,70	-4,30	20 570,00	-4 730,00
91	0,7	0,02	30,90	7,90	33 990,00	8 690,00
88	0,677	0,02	23,20	0,20	25 520,00	220,00
148	0,55	0,04	9,30	-13,70	10 230,00	-15 070,00

Столбцы в отчете (таблица 4) именуется следующим образом:

- 1) № СХО — идентификатор СХО в СППР;
- 2) O(СХО) — итоговая оценка, рассчитанная на шестом этапе методики для каждого объекта оценки, измеряется в относительных единицах;
- 3) $\Delta O(СХО)$ — отклонение от среднего значения по столбцу O(СХО). $\Delta O(СХО)$ вычисляется как $O(СХО) - \sum_{i=1}^n O(СХО)/n$, измеряется в относительных единицах;
- 4) УР(СХО) — фактическая урожайность СХО по данным, полученным от сельскохозяйственного предприятия, измеряется в ц/га;
- 5) $\Delta УР(СХО)$ — отклонение от средней урожайности по району, согласно статистическим данным средняя урожайность равна 23 ц/га, измеряется в ц/га;

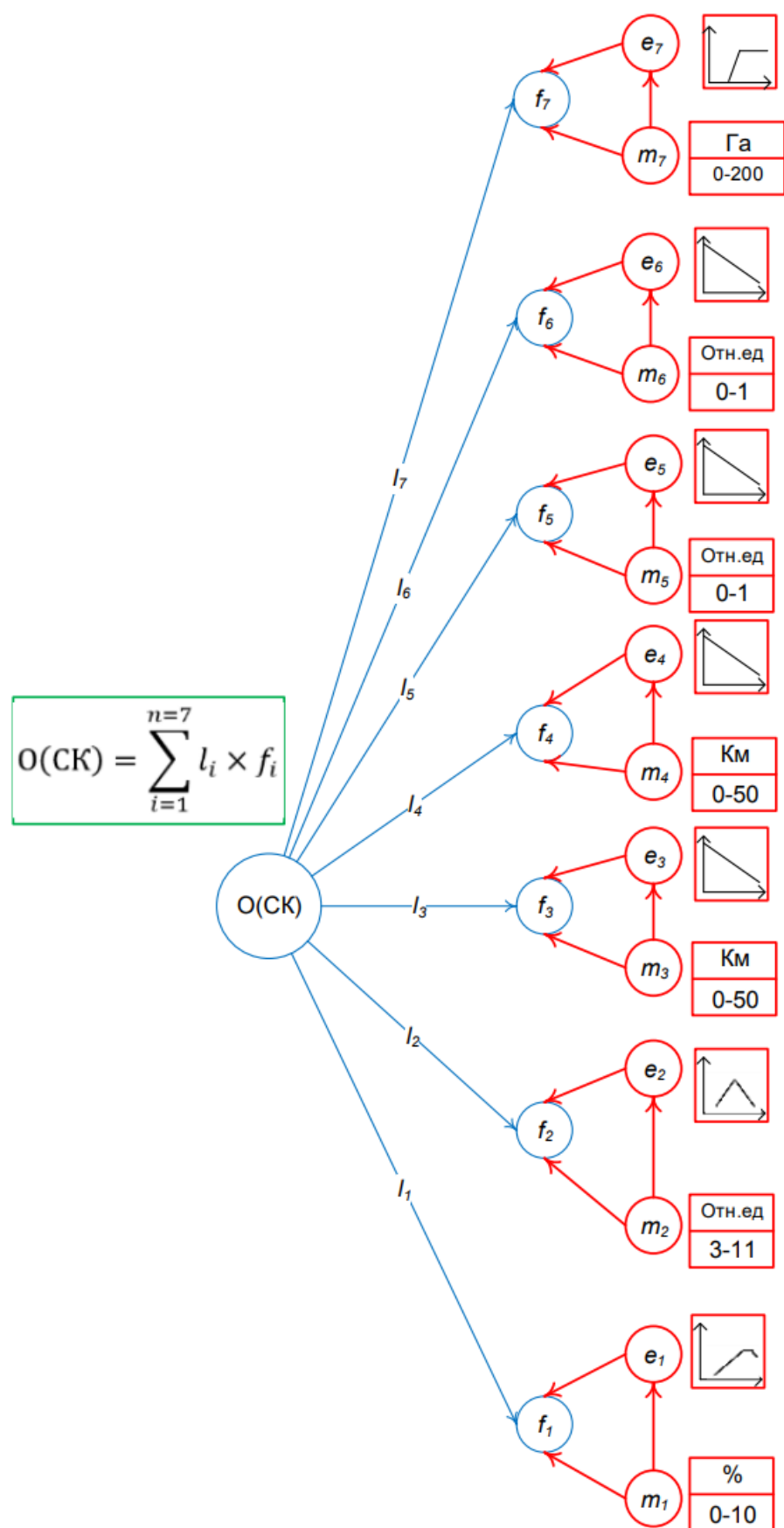


Рисунок 5 — Граф-схема многокритериальной оценки потенциальной эффективности ЗСХН

6) $CT(УР)$ — стоимость полученной продукции (пшеницы) с 1 га СХО, исходя из средней стоимости по району 11 000 руб./т, таким образом, $CT(УР) = УР(СК) * 1100$, измеряется в руб./га;

7) $\Delta CT(УР)$ — отклонение от средней стоимости полученной продукции (пшеницы) с 1 га, исходя из средней урожайности по району 23 ц/га: $\Delta CT(УР) = CT(УР) - 23 * 1100$.

3 Прототипирование системы поддержки принятия решений многокритериальной оценки ЗСХН

3.1 Детализация требований к системе

Извлечение экспертных знаний и представление их в формализованном виде является важным этапом в построении системы поддержки принятия решений. Для этого необходимо применение методов и средств извлечения, представления, структурирования и использования знаний. Полученные знания должны храниться в базе знаний (БЗ). Для пополнения базы знаний системы будут использованы методы получения экспертных знаний, такие как интервьюирование и анкетирование. Интервью проходит с экспертом для выявления расчетных формул для каждого показателя, для представления его физических значений в формализованном виде в системе. Посредством анкетирования экспертов, происходит выявления существенных показателей и их ранжирование по степени их важности для решения поставленных задач. При применении этих методов происходит накопления данных и знаний для решения поставленной задачи, с помощью которых формируются вычислительные процедуры. Использование вычислительных процедур дает возможность проведения расчетов и подготовку результатов для лица, принимающего решения (ЛПР).

Для выявления требований к поведению системы используется методика сценариев использования. С помощью ее описывается поведение системы, когда она взаимодействует с кем-то (или чем-то) из внешней среды. Система может отвечать на внешние запросы актора, может сама выступать инициатором взаимодействия. В разрабатываемой СППР акторами являются «ЛПР», «Эксперт», «Инженер по знаниям».

Use Case-диаграмма «Расчет многокритериальной оценки ЗСХН» показана на рисунке 6. В ней показано, что актору «ЛПР» доступны такие прецеденты, как авторизоваться и зарегистрироваться (при необходимости).

Использование учетных записей дает возможность хранить в них данные о принадлежащих пользователю ЗСХН. При входе в учетную запись, в системе пользователю будут отображаться контуры принадлежащих ему ЗСХН на векторном слое и их номера. Общий доступ к системе применим для получения информации в случаях, когда пользователь еще не имеет в своем пользовании ЗСХН или не нуждается в регулярном использовании системы.

Актору «ЛПР» доступно решение задачи по существующей в системе схеме решения. Схемы решения задач хранятся в БЗ и содержат в себе описание вычислительных процедур. В них содержатся выбранные экспертом существенные показатели и их весовые коэффициенты.

Создание новой схемы решения задачи невозможно без участия актора «Эксперт». Для каждой новой задачи актер «Эксперт» выбирает существенные показатели и ранжирует их по степени важности, с помощью чего системой вычисляются весовые коэффициенты для каждого показателя.

Для решения задачи по существующей схеме решения необходимо только выбрать объекты оценки (поля), что допустимо при выполнении соответствующего прецедента. Каждое поле имеет идентификатор, с помощью которых делается выборка оцениваемых полей.

Прецедент «Рассчитать оценки объектов» позволяет расчетчику итоговых оценок в автоматическом режиме провести соответствующие расчеты.

Итоговые оценки можно визуализировать с помощью векторных слоев с вычисленными атрибутами, а также отображать данные в табличной форме либо средствами деловой графики.

Use Case-диаграмма «Работа с базой знаний» представлена на рисунке 7. С помощью прецедента «Создать новую семантическую область» актер может создать новую семантическую область в базе знаний. При выполнении прецедента создается пустое таксономическое дерево, состоящее из корневой вершины, которая соответствует искомой интегральной характеристике объекта оценивания.

Далее, при нисходящем построении таксономии оценивания создаются абстрактные и означиваемые вершины с помощью соответствующих прецедентов.

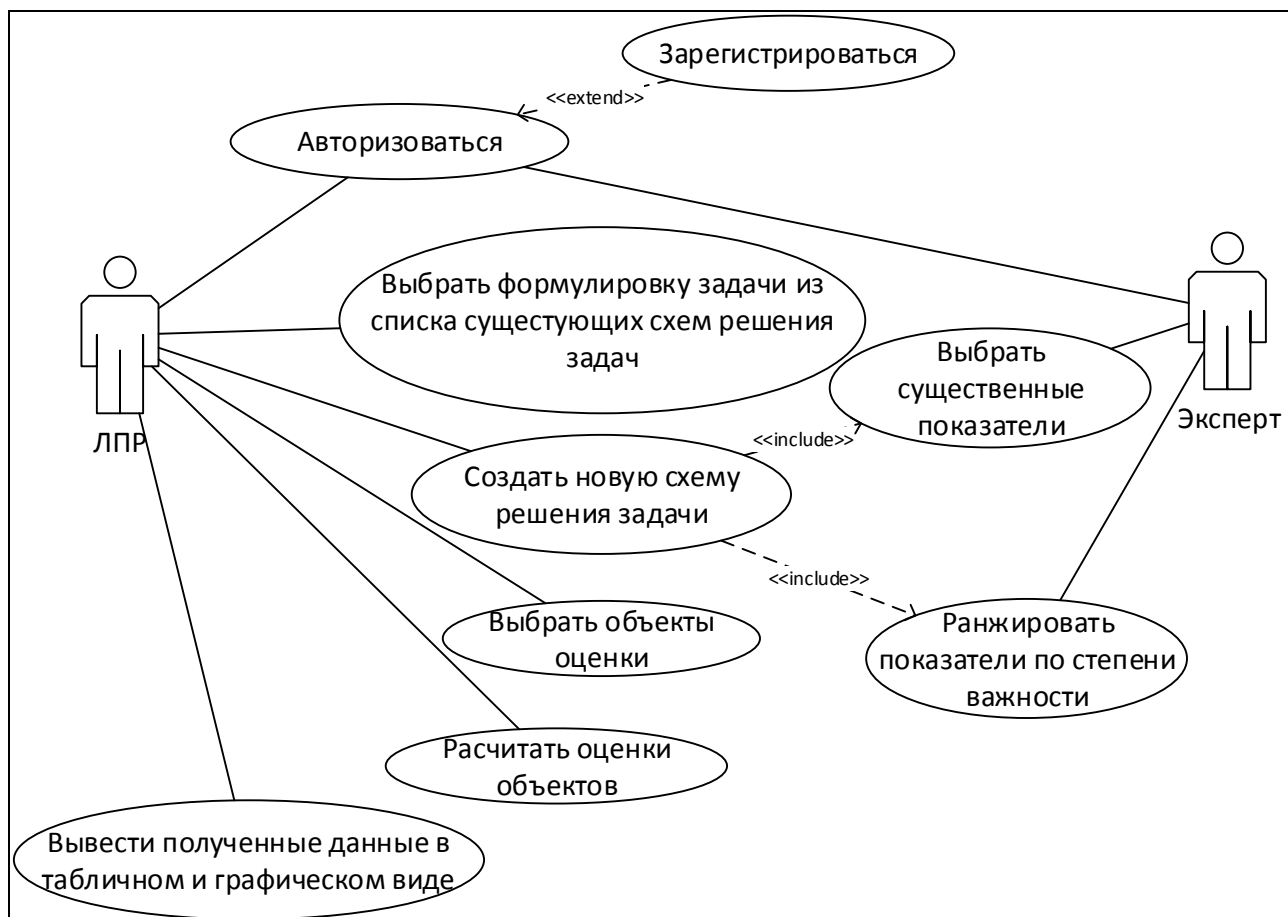


Рисунок 6 — Use Case-диаграмма «Расчет многокритериальной оценки ЗСХН»

Абстрактными вершинами выступают вершины, использованные при классификации и навигации по таксономии оценивания агроэкономического потенциала земель, для которых не предусмотрена процедура вычисления оценки. Примерами таких вершин могут служить вершины, характеризующие типы дорожных покрытий, формы полей и многое другое. Означиваемые вершины – вершины, для которых существует формально определенная процедура, позволяющая сопоставить объекту оценивания значение соответствующего признака. Все листовые вершины дерева таксономии являются означиваемыми. Примерами означиваемых вершин могут выступать

такие показатели, как процентное содержание гумуса, кислотность почвы, уклон рельефа местности и др.

Для изменения свойств вершины предусмотрен прецедент «Редактировать свойства». В свойствах вершины содержится информация о названии показателя (характеристики), единицах измерения, вычислительной формуле.

Прецедент «Создать связь между вершинами» необходим для установления отношений между созданными вершинами.

Также актору доступны прецеденты «Сохранить семантическую область» и «Сохранить версию базы знаний». Первый прецедент предназначен для сохранения изменений в семантической области и выгрузки данных в формат XML. Второй прецедент отвечает за поддержку версионности системы. Этот прецедент позволяет сохранять несколько версий БЗ и при необходимости возвращаться к более ранним версиям, определять, кто и когда сделал то или иное изменение, и многое другое.

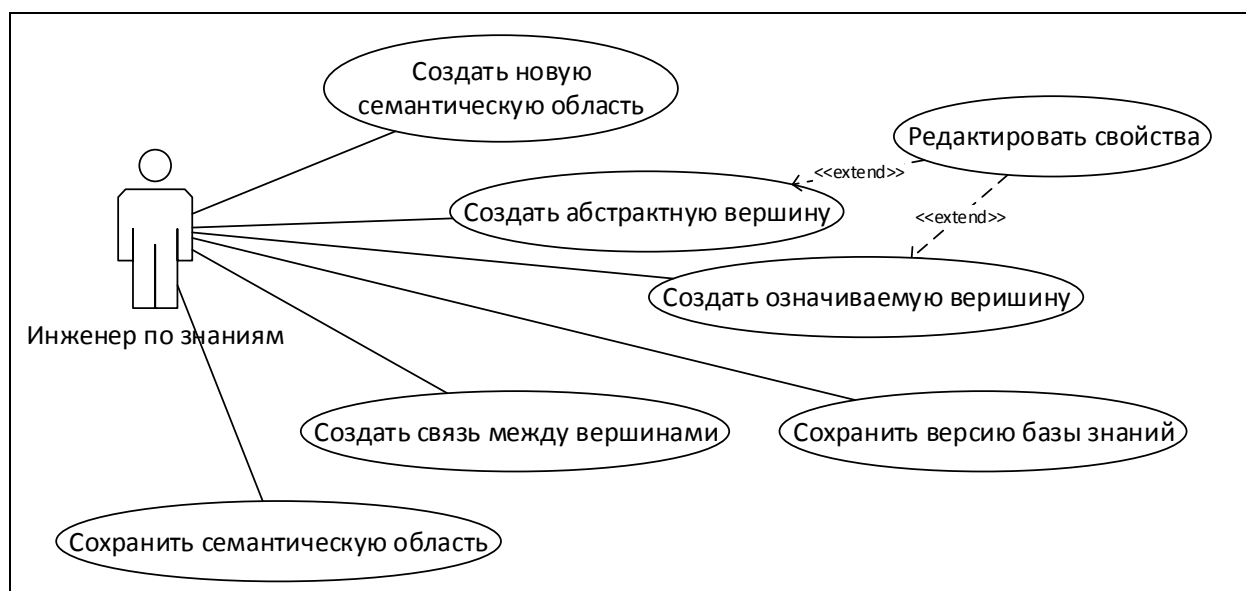


Рисунок 7 — Use Case-диаграмма «Работа с базой знаний»

3.2 Проектирование системы поддержки принятия решений

Под проектированием понимают процесс определения архитектуры, компонентов, интерфейсов и других характеристик системы [43, 44].

Корректное представление системной архитектуры на этапе проектирования дает возможность выявить и исправить ошибки на проектном этапе, что позволяет избежать временных и финансовых затрат, на порядок увеличивающихся на этапе разработки.

Существуют различные подходы к проектированию. На сегодня, стандартом де-факто при разработке объектно-ориентированных систем является унифицированный язык моделирования (UML). Язык UML служит для определения, отображения и описания элементов объектно-ориентированных систем в процессе их создания. Он содержит стандартный набор диаграмм и нотаций, применяемых для визуализации разрабатываемой системы с разных точек зрения. Прежде, чем приступать к созданию информационной системы необходимо сформировать понятия о предметах, фактах и событиях, которыми будет оперировать система. Для того, чтобы привести эти понятия к той или иной модели данных, необходимо заменить их информационными представлениями. Одним из наиболее удобных инструментов унифицированного представления данных, независимого от реализующего его программного обеспечения, является диаграмма «сущность-связь». Диаграмма «сущность-связь» основывается на семантической информации о реальном мире и предназначена для логического представления данных. Она определяет значения данных в контексте их взаимосвязи с другими данными. Диаграмма «сущность-связь», продемонстрированная на рисунке 8, позволяет графически представить моделирование сущностей и их взаимосвязей.

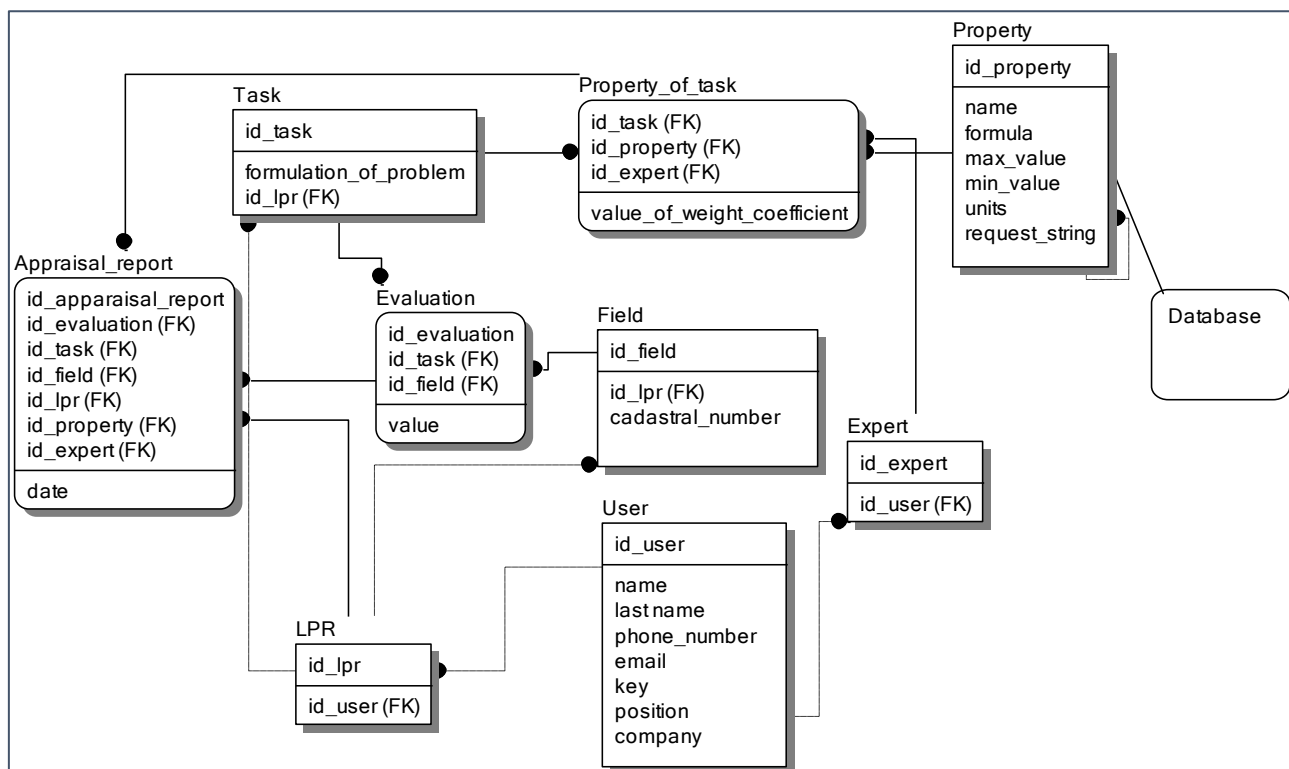


Рисунок 8 — Тематическая область ER-диаграммы «Оценка состояния ЗСХН»

В диаграмме «сущность-связь» представлены следующие сущности:

- сущность «Task» содержит информацию о формулировках задач, и о идентификаторе ЛПП имеет неидентифицирующую связь «один ко многим» с сущностями «LPR», и идентифицирующую связь «один ко многим» с сущностями «Evaluation», «Property_of_task»;

- сущность «Property_of_task» содержит в себе информацию о идентификаторе задачи, идентификаторе свойства, идентификаторе эксперта и значениях о коэффициентах важности для каждого свойства. В ней определяются конкретные свойства для конкретной задачи. Сущность имеет идентифицирующую связь «один ко многим» с сущностями «Task», «Property» и «Expert», «Appraisal_report»;

- сущность «Property» содержит в себе информацию о названии показателей, их расчетных формулах, единицах измерения и диапазоне возможных значений, также строку запросу, с помощью которой с базы данных

загружаются данные о показателях. Имеет идентифицирующую связь «один ко многим» с сущностями «Property_of_task»;

- в сущности «Appraisal_report» описывается информация об состоявшемся акте оценки и содержит в себе идентификаторы ЛПР, оценки, задачи, свойства и эксперта, а также дату проведения. Имеет идентифицирующую связь «один ко многим» с сущностями «LPR», «Evaluation», «Property_of_task»;

- сущность «Evaluation» содержит информацию об идентификаторе поля, для которого рассчитана оценка, идентификаторе решаемой задачи, и, соответственно, числовое значение оценки. Идентифицирующая связь «один ко многим» с сущностями «Field», «Appraisal_report» и «Task»;

- в сущности «Field» описывается информация о кадастровом номере поля, идентификаторе ЛПР, идентификаторе оценки поля, с помощью которого осуществляется сопоставление информации о значении оценки с нужным полем на основании неидентифицирующей связи «один ко многим» с сущностью «LPR» и идентифицирующей связи «один ко многим» с сущностью «Evaluation»;

- сущность «User» несет в себе информацию о полном имени пользователя, а также об его личных данных. Имеет связь «один ко многим» между сущностями «LPR» и «Expert»;

- в сущности «LPR» содержатся идентификаторы пользователей, имеющих роль «ЛПР» в системе;

- в сущности «Expert» содержатся идентификаторы пользователей, имеющих роль «Эксперт» в системе.

Диаграмма деятельности служит для описания действий, выполняющихся в системе, обладающих нетривиальным алгоритмом. Деятельность — это продолжающийся во времени неатомарный шаг вычислений в автомате. Деятельности, в конечном счете, приводят к выполнению некоего действия, составленного из выполняемых атомарных вычислений, каждое из которых

либо изменяет состояние системы, либо возвращает какое-то значение. Одно из основных направлений использования диаграмм деятельности — отображение внутрисистемной точки зрения на прецедент [45]. Диаграммы деятельности применяют для описания шагов, которые должна предпринять система после того, как инициирован прецедент.

Для детального рассмотрения алгоритма действий прецедента «Создать новую схему решения задачи» на рисунке 9 представлена построенная диаграмма деятельности.

Прецедент имеет три зоны ответственности — ЛПР, система и эксперт. Прецедент начинается, когда ЛПР создает схему решения задачи. ЛПР обозначает название задачи, после чего система создает в базе знаний пустое таксономическое дерево с корневой вершиной, которая соответствует искомой интегральной характеристике объекта оценивания. После, система отправляет запрос эксперту, что бы тот в свою очередь выявил систему существенных показателей для решения поставленной задачи. Система сохраняет систему существенных показателей в БЗ в виде вершин таксономического дерева. На основании полученной информации системой формируются анкеты для экспертной группы. В анкетах членам экспертной группы предлагается проранжировать элементы системы существенных показателей по степени их важности в рамках решаемой задачи путем выставления ранговых значений. Согласованность экспертных мнений определяется коэффициентом конкордации Кендалла, который вычисляется системой в ходе обработки анкет. Принято считать, что экспертные мнения являются высоко согласованными, если коэффициент конкордации превышает значение 0,8. В случае несогласованности, система обнуляет данные анкетирования и заново предоставляет анкеты экспертам. После получения согласованных результатов, по данным анкетирования рассчитываются весовые коэффициенты для показателей и заносятся в схему решения задачи.

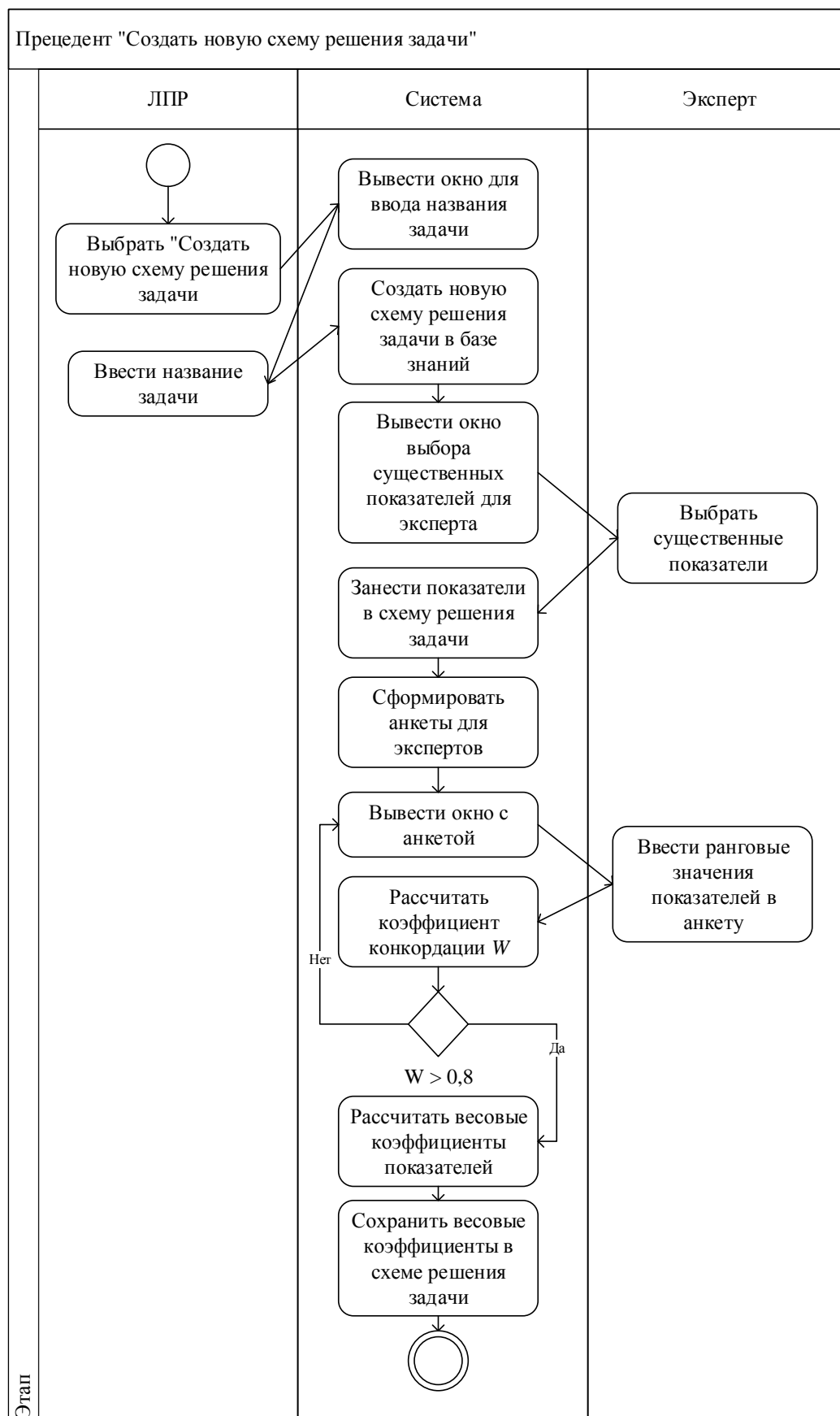


Рисунок 9 — Диаграмма деятельности для прецедента
«Создать новую схему решения задачи»

Диаграмма классов служит для представления статической структуры модели системы в терминологии классов объектно-ориентированного программирования. Диаграмма классов может отражать, в частности, различные взаимосвязи между отдельными сущностями предметной области, такими как объекты и подсистемы, а также описывает их внутреннюю структуру и типы отношений. Классы — это строительные блоки любой объектно-ориентированной системы. Они представляют собой описание совокупности объектов с общими атрибутами, операциями, отношениями и семантикой [46].

Ключевые классы системы представлена на рисунке 10.

В классе «User» содержатся атрибуты, которые несут личную информацию о пользователе — имя, фамилия, контакты, должность и место работы. В этом классе содержится метод, реализующий регистрацию нового пользователя. Классы «LPR» и «Expert» содержат в себе атрибуты идентификаторов пользователей, для разделения ролей в системе. Класс «Task» имеет атрибуты, отвечающий за формулировку задачи, идентификатора лица, принимающего решение, также в этом классе содержатся методы для выбора существующей схемы решения задачи и для создания новой схемы. Атрибуты класса «Property» предоставляют информацию о показателях (название, расчётная формула, единицы измерения, максимальные и минимальные значения, строка запроса, идентификаторы полей и задач). В классе содержится метод выбора необходимых показателей. Класс «WeightCoefficien» содержит атрибуты, отвечающие за числовые значения весовых коэффициентов, а также идентификатор показателя и эксперта. В этом классе предусмотрен метод для внесения числовых значений весовых коэффициентов. Класс «Field» реализует метод выбора полей, а атрибуты класса отвечают за кадастровый номер поля и идентификатор пользователя, владеющий этим полем. Класс «Evaluation» содержит в себе атрибутивную информацию: идентификаторы задачи и поля, к которым относится рассчитанная оценка, а также числовое значение оценки. Этот класс реализует метод расчета оценки.

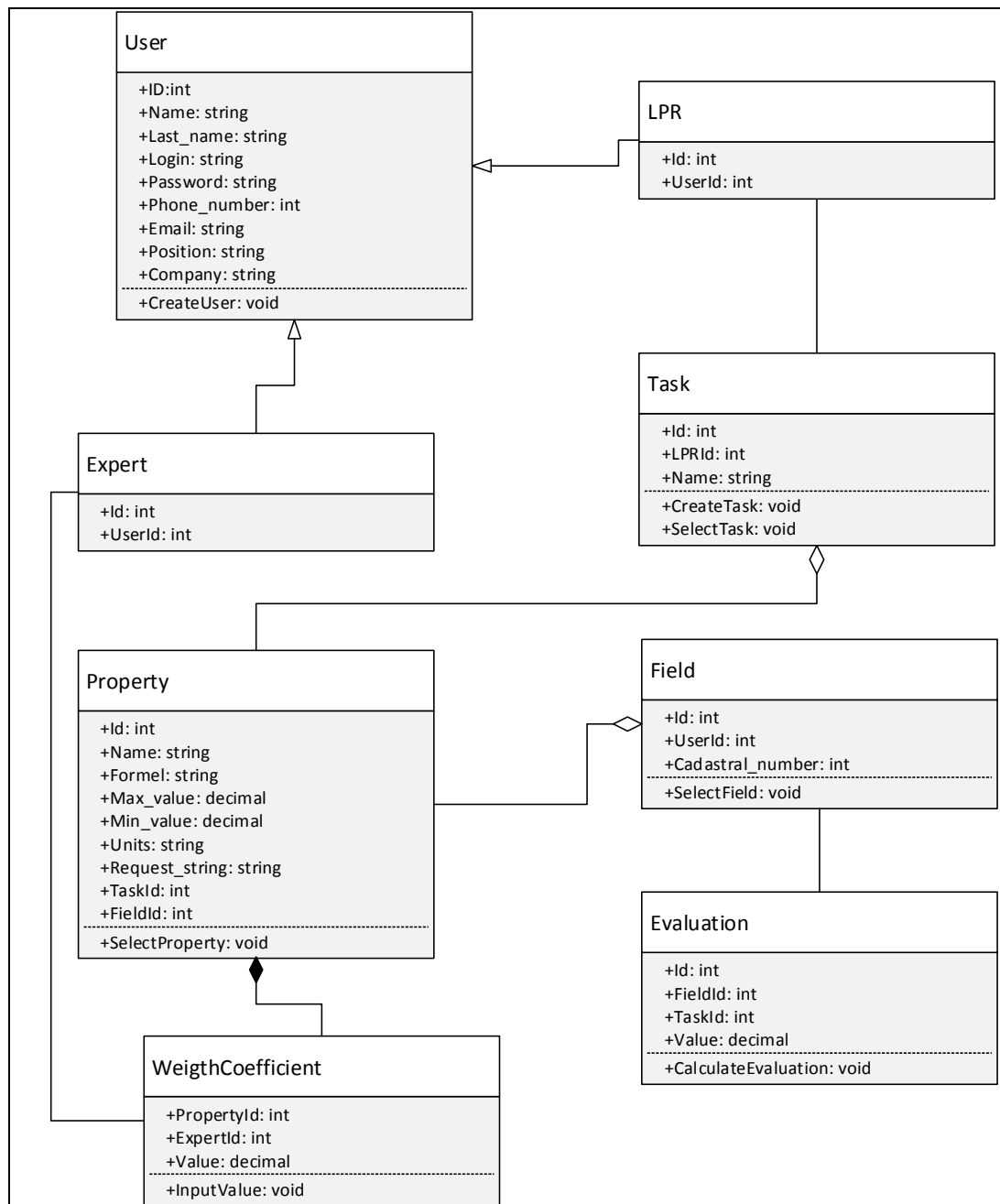


Рисунок 10 — Ключевые классы системы

3.3 Разработка функциональной структуры СППР

Ниже представлена функциональная структура СППР, интегрирующая знания и опыт различных специалистов для поддержки принятия управленческих решений ЛПР, основанная на оценке ЗСХН (рисунок 11).

База знаний является ключевым блоком системы, который содержит в себе репозиторий онтологий, поддерживает средства обеспечения целостности информации, управления версиями и изменениями. Редактор базы знаний позволяет эксперту осуществлять операции по созданию и редактированию базы знаний, экспортировать ее в файл и открывать сохраненные файлы. Генератор схемы решения задачи (СРЗ) позволяет эксперту, ответственному за представление задачи, создавать и поддерживать модель описания задачи в рамках определенной версии онтологии, а также осуществлять операции по миграции описания задачи в обновленные версии онтологии. При создании и модификации онтологии возникает процедура описания вычислительных соотношений для метрик оценивания. Данная процедура базируется на использовании редактора формул, который входит как компонента в редактор базы знаний и генератор схемы решения задачи. Помимо базовых математических операций генератор формул содержит возможность формирования таблично заданных функций.

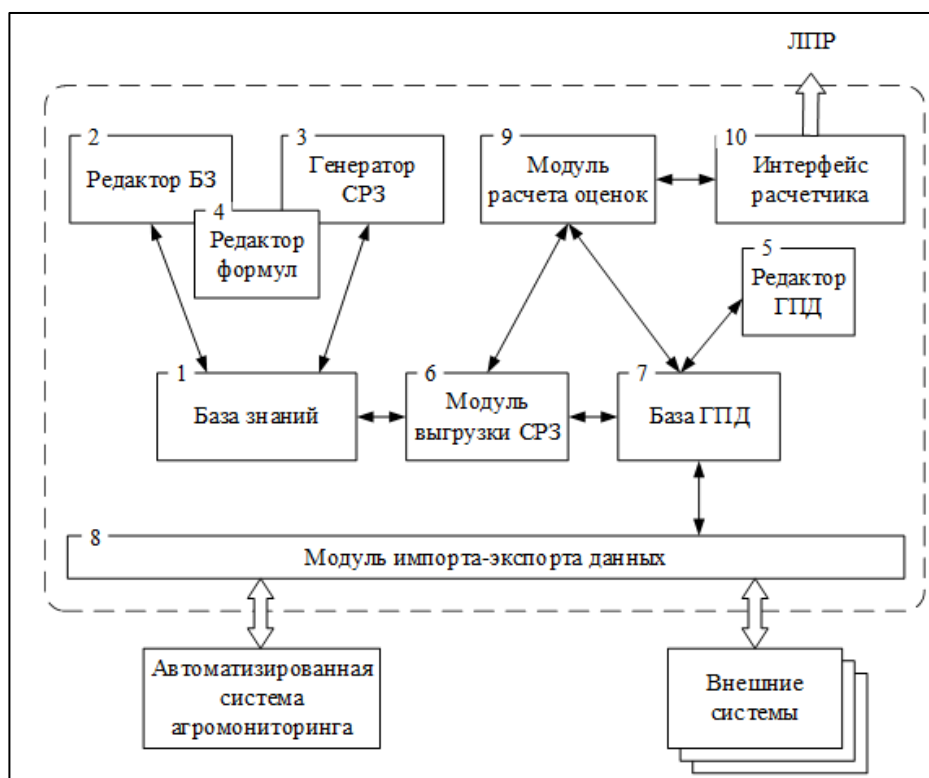


Рисунок 11 — Функциональная структура пассивной СППР

Редактор геопространственных данных (ГПД) служит для подготовки и оперирования геопространственным описанием экземпляра решаемой задачи. При создании пустого экземпляра решаемой задачи модуль загрузки СРЗ порождает шаблон векторного слоя с предопределенным набором атрибутов, заданных в схеме решения задачи, который помещается в базу ГПД. Затем слой наполняется данными о пространственных координатах объектов оценки, тем самым формируется векторное представление данных на анализируемую территорию, содержащее множество объектов оценки как геопространственных объектов.

Атрибутивная информация содержит значения натуральных параметров объектов оценки. Поставка атрибутивной информации — ответственность модуля импорта-экспорта данных. Данный модуль взаимодействует с автоматизированной системой агромониторинга и другими внешними системами, что позволяет получать данные на основе обработки и анализа космоснимков, наземных измерений, данных метеостанций и других источников.

Расчет промежуточных и итоговых оценок производится модулем расчета оценок. Визуализация оценок осуществляется через интерфейс расчетчика, позволяющий формировать пространственное представление данных в виде векторных слоев с вычисленными атрибутами, а также отображать данные в табличной форме либо средствами деловой графики.

СППР дополняет ранее созданную авторским коллективом автоматизированную систему агромониторинга [47, 48], позволяя создавать и накапливать библиотеку схем решения задач многокритериальной оценки состояния ЗСХН, включая возможность динамического наблюдения за их изменением в ходе сезона вегетации и поддержки принятия управленческих решений. Схемы решения задач создаются на базе экспертных оценок и после отладки на существенном объеме экспериментальных данных могут использоваться как объективный инструмент, масштабируемый на другие

территории, обладающие сходной совокупностью природно-климатических условий.

Далее, в работе для прототипирования выбран модуль расчета оценок.

3.4 Описание разработанных модулей системы

В база знаний содержится атрибутивная информация об объектах оценки, которая представляет из себя значения натуральных параметров этих объектов. Атрибутивная информация с помощью работы модуля импорта и экспорта данных поступает из системы агромониторинга и других внешних систем путем обработки и анализа космоснимков, наземных измерений, данных метеостанций и других источников.

На сегодняшний день, сотрудниками научно-учебной лаборатории института космических и информационных технологий (НУЛ ИКИТ), разработаны прототипы редактора БЗ и редактора формул. Редактор БЗ и редактор формул являются отдельными приложениями и взаимодействуют с БЗ.

Редактор базы знаний позволяет эксперту, ответственному за содержание БЗ, осуществлять операции по созданию семантической области, элементов семантической области (вершин) и связей между ними. Также в редакторе БЗ визуализируется построенный граф и отображаются параметры вершин графа, тем самым предоставляя пользователю возможность редактировать знания, связанные с вершинами. Для сохранения изменений в семантической области и выгрузки данных в формате XML существует соответствующая операция. Стоит отметить, что в редакторе БЗ имеется поддержка версионности системы, что позволяет сохранять несколько версий БЗ и при необходимости возвращаться к более ранним версиям, определять, кто и когда сделал то или иное изменение, и многое другое. Главная форма редактора базы знаний системы представлено на рисунке 12.

Разработанный редактор формул содержит поля для ввода данных и вывода результата, реализует основные арифметические действия. Редактор формул осуществляет возможность формирования таблично заданных функций, создания новых формул, редактирования формул. А также, редактор формул сохраняет и извлекает формулы из базы данных. Интерфейс пользователя редактора формул представлен на рисунке 13.

Проект

Редактировать

Узел

Добавить узел

Удалить узел

id	Название узла	Родительский узел	Отношение
----	---------------	-------------------	-----------

Узлы, связанные с узлом (id):

id	Название узла
----	---------------

Добавить связь

Удалить связь

Удалить все связанные узлы

Карта расположения узлов

Имя узла:

Отношение:

Параметры выбранного узла

Добавить параметр

Удалить параметр

Параметр	Значение
----------	----------

Параметр:

Значение параметра:

Рисунок 12 — Главная форма редактора базы знаний

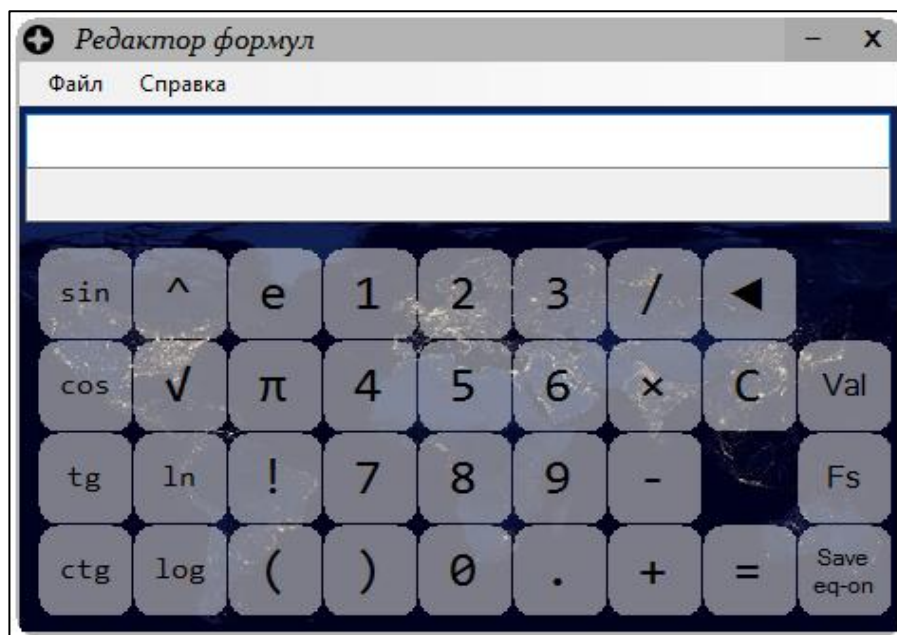


Рисунок 13 — Интерфейс пользователя редактора формул

3.5 Выбор технических решений для разработки прототипа модуля расчета оценок

Прототип модуля расчета оценок в целом реализует основной функционал и имеет распределенную архитектуру: клиентское web-приложение, сервер авторизации, сервер ресурсов, сервер данных.

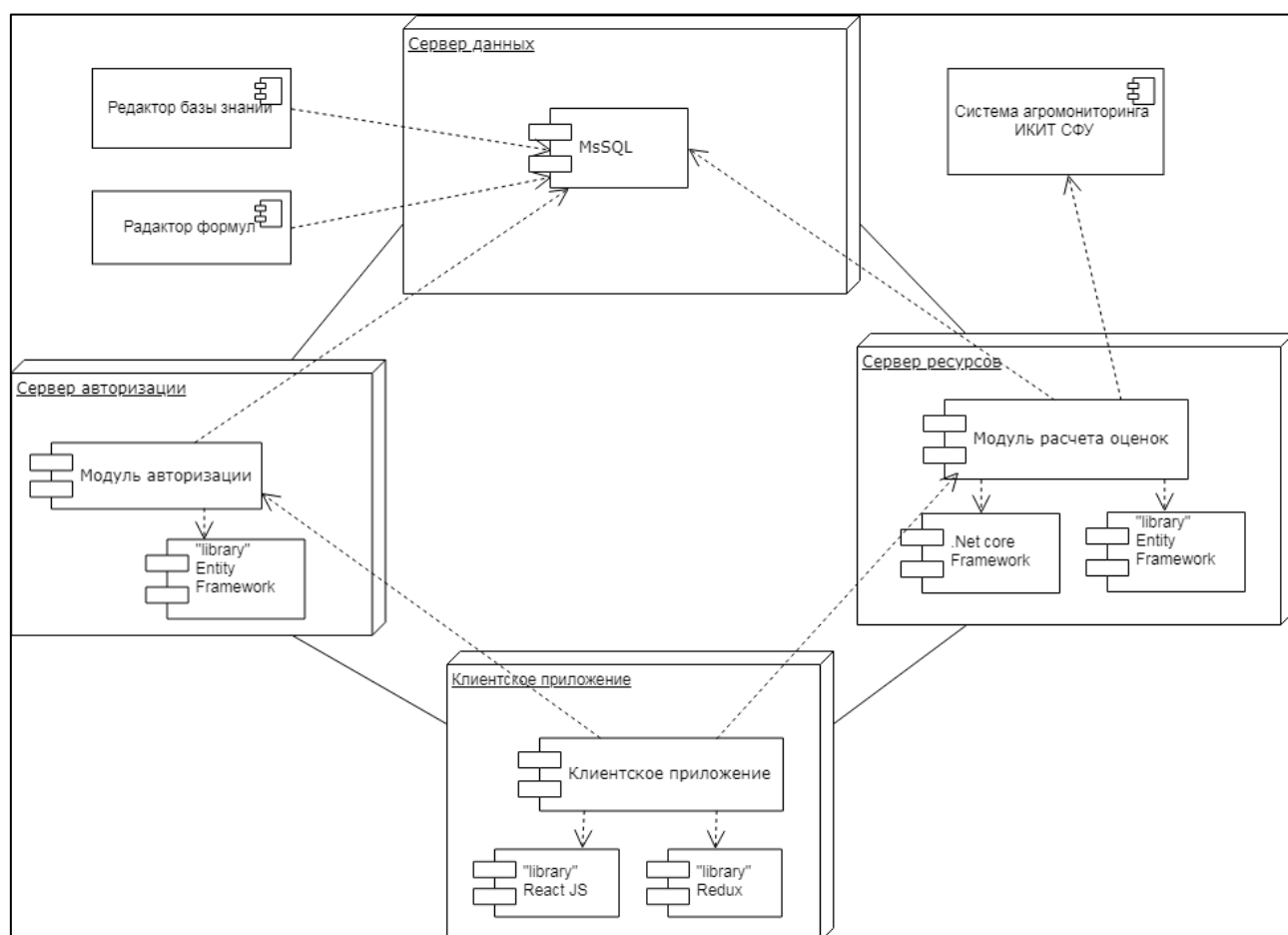
Клиентское web-приложение является средством для ввода и отображения информации. Авторизация пользователя осуществляется с помощью модуля авторизации. Связь между клиентским приложением и сервером авторизации и сервером ресурсом осуществляется с помощью протокола http. Для авторизации пользователь отправляет учетные данные на сервер авторизации, сервер авторизации сравнивает с теми данными, что хранятся в базе данных, и если пользователь с такими учетными данными существует, то ему дается возможность работать с сервером ресурсов. На сервере ресурсов располагается модуль расчета оценок. На сервере ресурсов осуществляется считывание, обработка, запись данных базы данных (MsSQL).

На диаграмме развертывания, представленной на рисунке 14, отображено физическое представление прототипа модуля расчета оценок. Такая диаграмма

демонстрирует взаимодействие компонентов с узлами в физической системе, а также соединение узлов собой. Узлом является любой вычислительный ресурс.

Для реализации серверной части модуля выбран язык высокого уровня C#, а для клиентской части язык программирования JavaScript.

Средой разработки выбрана Microsoft Visual Studio 2017 — линейка продуктов компании Microsoft, включающих интегрированную среду разработки программного обеспечения и ряд других инструментальных средств. Данные продукты позволяют разрабатывать как консольные приложения, так и приложения с графическим интерфейсом, в том числе с поддержкой технологии Windows Forms, а также веб-сайты, веб-приложения, веб-службы как в встроенном, так и в управляемом кодах для всех платформ, поддерживаемых операционные системы Windows, Windows Mobile, Windows CE, .NET Framework, Xbox, Windows Phone, .NET Compact Framework и Silverlight.



Для оперирования знаниями и данными используются разработанные модули - редактор базы знаний и редактор формул.

Для хранения информации выбрана реляционная система управления базами данных (СУБД) MsSQL. Важная особенность реляционных систем, их отличие от одноуровневых баз данных – возможность располагать данные в нескольких таблицах. СУБД MsSQL отражает высокую скорость работы, быстроту обработки данных и оптимальную надежность.

3.6 Разработка прототипа модуля расчета оценок

Прототип модуля расчета оценок должен включать основные функции, определенные на этапе проектирования системы и реализовывать разработанную методику расчета многокритериальной оценки состояния ЗСХН.

Начальным этапом работы модуля является процесс авторизации или регистрации пользователя. Процедуры регистрации и авторизации предоставляют возможность вести учет пользователей системы, предоставлять вход пользователям под своими учетными данными, а также в дальнейших разработках системы, они дадут возможность хранить в них данные о принадлежащих ЗСХН пользователю.

Далее, из списка существующих схем решения задач (рисунок 15) предоставляется возможность выбрать необходимую задачу. После выбора схемы решения задачи, пользователю предлагается перейти к этапу выбора объектов для оценки – полей. Согласно методике, если задача решается впервые, то необходимо создать новую схему решения задачи. При создании новой СРЗ, ЛПР вводит название задачи, затем система отправляет запрос эксперту для выполнения дальнейших этапов методики.

При создании схемы решения для новой задачи первым шагом необходимо выделить существенные показатели для решения поставленной задачи. На рисунке 16 представлено окно выявления существенных показателей. Данный этап выполняется пользователем с ролью «Эксперт».

Далее, для ранжирования показателей по степени их важности предоставляется окно ввода ранговых номеров (рисунок 17). Данный этап выполняется пользователем с ролью «Эксперт».

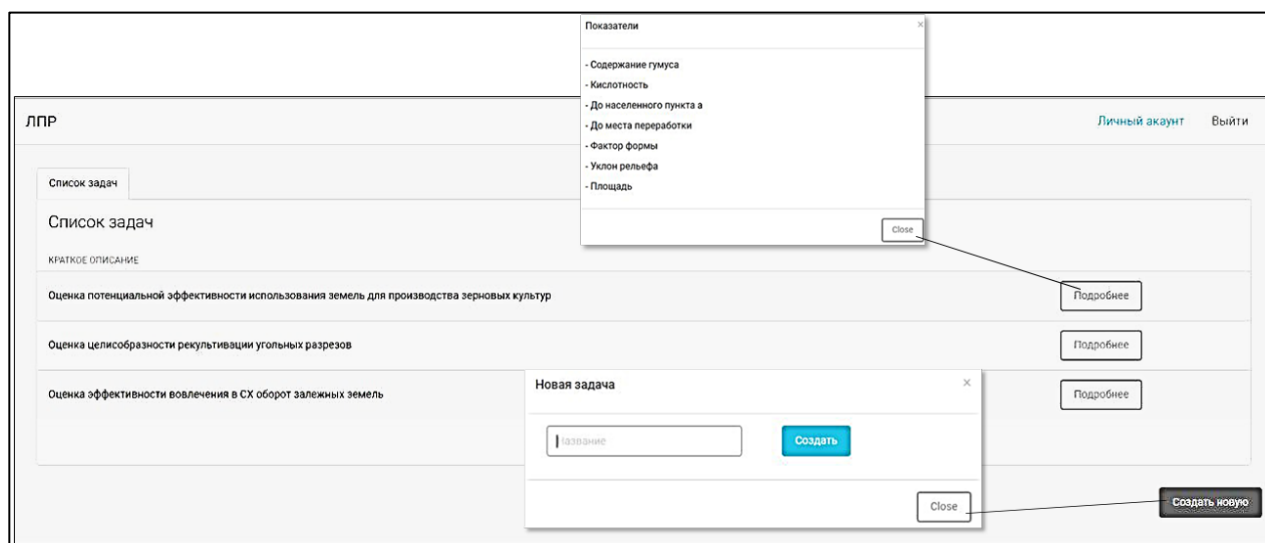


Рисунок 15 — Форма постановки задачи ЛПР

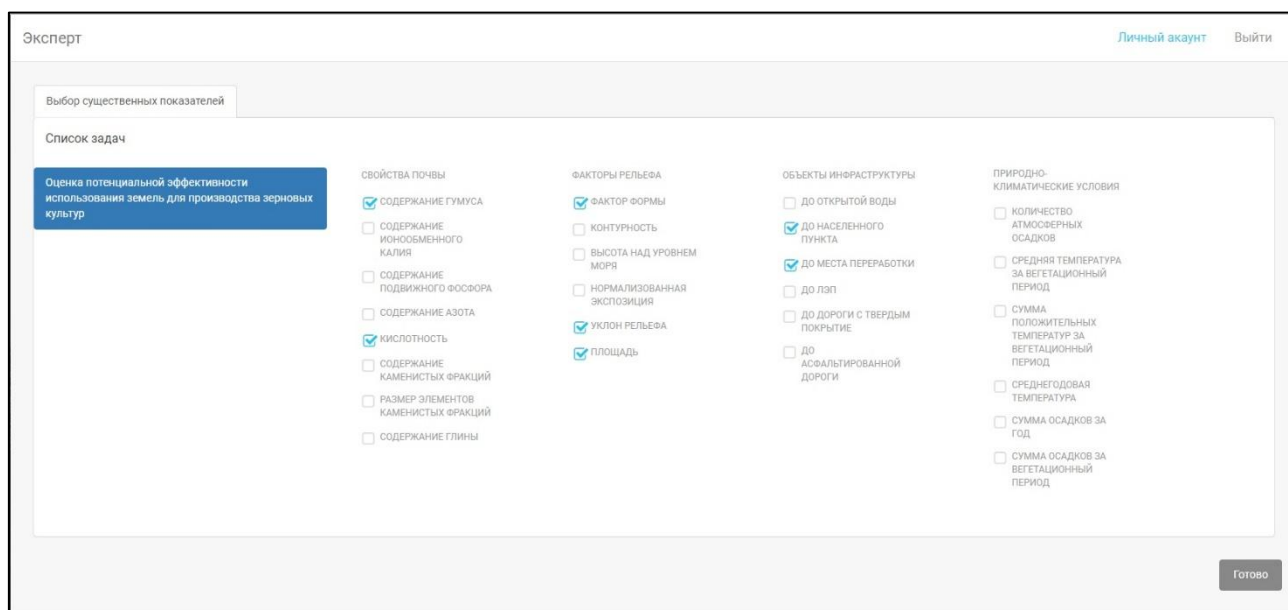


Рисунок 16 — Окно выявления существенных показателей

В процессе обработки полученных ранговых значений, система рассчитывает значение коэффициента конкордации и в случае удовлетворительных результатов, предоставляет пользователю возможность выбора объектов (полей) для расчета оценки в соответствующем окне, путем внесения в поля ввода их идентификаторов (рисунок 18). Если результаты коэффициента конкордации неудовлетворительны, соответственно, этап ранжирования показателей выполняется снова.

The screenshot shows a web application interface titled 'Эксперт' (Expert). At the top right, there are links for 'Личный аккаунт' (Personal account) and 'Выйти' (Logout). Below the title, there is a tab labeled 'Ранжирование показателей' (Ranking of indicators). Under this tab, a section titled 'Список задач' (List of tasks) contains a blue button with the text 'Оценка потенциальной эффективности использования земель для производства зерновых культур' (Evaluation of the potential efficiency of land use for grain production). To the right of this button is a table of primary metrics:

Содержание гумуса	7
Кислотность	5
Фактор формы	4
Уклон рельефа	3
Площадь	1
До населенного пункта	6
До места переработки	2

At the bottom right of the interface, there is a button labeled 'Готово' (Ready).

Рисунок 17 — Окно вывода данных первичной метрики выбранных объектов

Следующим этапом происходит выбор объектов оценки ЛПР. ЛПР вводит идентификаторы полей в поисковую строку. После получения значений идентификаторов для выбранных объектов, система нормирует значения первичных метрик в метрики оценок и рассчитывает многокритериальные оценки по каждому объекту (рисунок 18). В окне на рисунке 18 информация представлена в табличном виде по каждому объекту в виде метрики оценки и

итоговой многокритериальной оценки. Значения метрики оценки и итоговой многокритериальной оценки представлены в баллах.

Итоговые значения многокритериальных оценок по выбранным полям загружаются в систему агромониторинга ИКИТ СФУ в виде векторного слоя (рисунок 19).

ЛПР Личный кабинет Выйти

Показатели

Показатели

88, 89, 91, 92, 144 Поиск

ID	ПОКАЗАТЕЛИ	ИТОГОВАЯ ОЦЕНКА
88	Содержание гумуса - 0.8 Балл Кислотность - 0.6 Балл До населенного пункта - 0.8 Балл До места переработки - 0.8 Балл Фактор формы - 0.8 Балл Уклон рельефа - 0.8 Балл Площадь - 0.3 Балл	0.68 Балл
89	Содержание гумуса - 0.8 Балл Кислотность - 1 Балл До населенного пункта - 0.8 Балл До места переработки - 0.8 Балл Фактор формы - 0.8 Балл Уклон рельефа - 0.8 Балл Площадь - 0.4 Балл	0.80 Балл
91	Содержание гумуса - 0.7 Балл Кислотность - 0.8 Балл До населенного пункта - 0.8 Балл До места переработки - 0.8 Балл Фактор формы - 0.8 Балл Уклон рельефа - 0.8 Балл Площадь - 0.4 Балл	0.70 Балл
92	Содержание гумуса - 0.8 Балл Кислотность - 0.8 Балл До населенного пункта - 0.9 Балл До места переработки - 0.8 Балл Фактор формы - 0.7 Балл Уклон рельефа - 0.8 Балл Площадь - 0.5 Балл	0.74 Балл
144	Содержание гумуса - 0.8 Балл Кислотность - 1 Балл До населенного пункта - 0.9 Балл До места переработки - 0.8 Балл Фактор формы - 0.7 Балл Уклон рельефа - 0.8 Балл Площадь - 0.5 Балл	0.82 Балл

Рассчитать
Сохранить

Рисунок 18 — Окно вывода данных метрики оценки и итоговой многокритериальной оценки

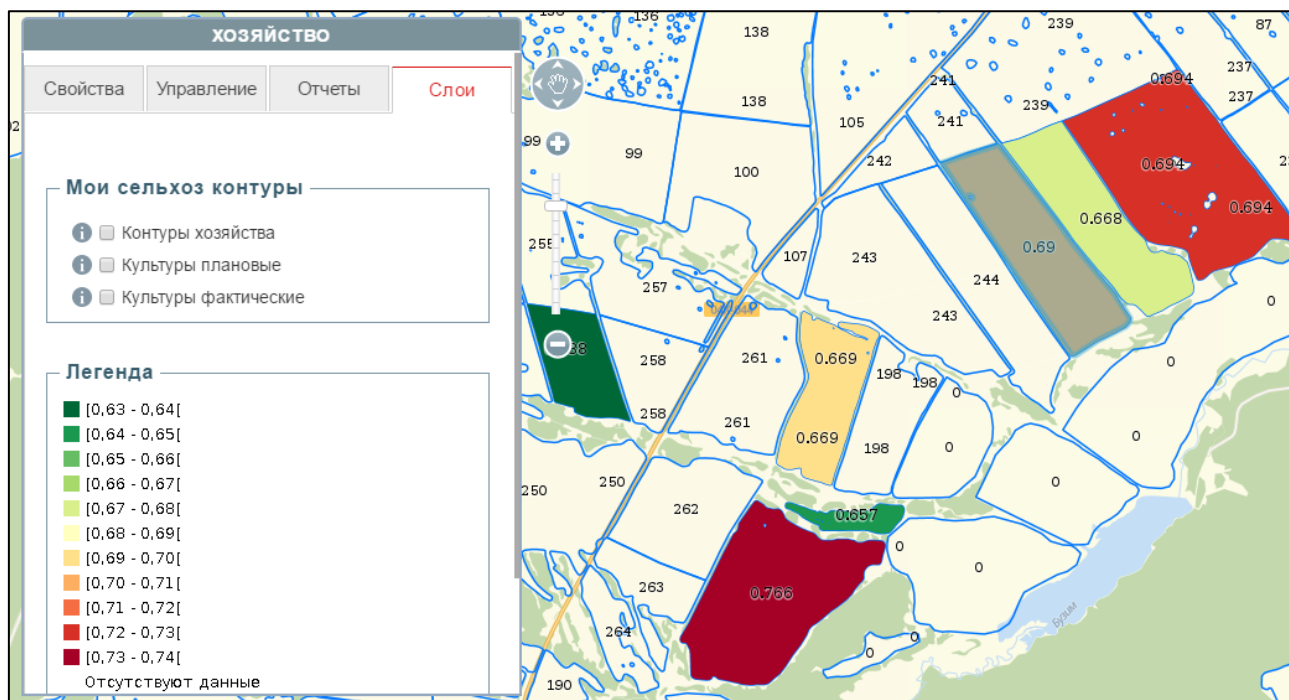


Рисунок 19 — Окно системы агромониторинга ИКИТ СФУ

3.7 Вывод по главе 3

В третьей главе описаны процессы детализации требований и проектирования СППР для расчета многокритериальной оценки состояния ЗСХН. В ходе выполнения детализации требований к СППР получены две Use Case-диаграммы для расчета многокритериальной оценки ЗСХН и работы с базой знаний. Выполнено проектирование системы поддержки принятия решений, что включает в себя проектирование с использованием унифицированного языка моделирования (UML), а также разработку функциональной структуры СППР. Описана разработка прототипа модуля системы поддержки принятия решения для получения многокритериальной оценки состояния ЗСХН. Прототип модуля реализует разработанную методику и основной функционал, определенный на этапе проектирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование методов и технологий построения пространственно-ориентированных систем поддержки принятия решений показало, что такие СППР разрабатывают как в виде настольных приложений, как и в виде web-приложений. В зависимости от типа приложения идет выбор между интеграцией СППР с ГИС или разработкой СППР на базе ГИС. Стоит также отметить, что в рассмотренных работах, исследователи представляют информацию об объектах в виде иерархии, а для извлечения экспертных знаний используют методы: парных сравнений, анализа иерархий, Дельфи, метод, основанный на применении нечетких когнитивных карт. Так же выявлено, что оценка земельных ресурсов строится на базе иерархической декомпозиции системы признаков и вычислительных процедур, позволяющих рассчитать указанную оценку. Проведенное исследование является результатом решения первой задачи работы.

Разработана методика расчета многокритериальной оценки состояния ЗСХН на основе сформированной экспертами системы показателей, которая внедрена в разработанную СППР. Методика включает в себя 9 основных этапов и базируется на использовании СППР, БЗ экспертов и подсистемы загрузки геопространственной информации по выбранным сельскохозяйственным контурам из ГИС «Система агромониторинга» в БД системы. Тем самым, решена вторая задача работы.

В ходе выполнения детализации требований к СППР получены две Use Case-диаграммы для расчета многокритериальной оценки ЗСХН и работы с базой знаний. Выполнено проектирование системы поддержки принятия решений, что включает в себя проектирование с использованием унифицированного языка моделирования (UML), а также разработку функциональной структуры СППР. Разработан прототип модуля оценок системы поддержки принятия решений для получения многокритериальной

оценки состояния ЗСХН. Прототип модуля расчета оценок реализует разработанную методику и основной функционал, определенный на этапе проектирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1) Терехов, А.Г. Принципы агроландшафтного районирования пахотных земель Северного Казахстана по данным LANDSAT и MODIS / А. Г. Терехов, И. С. Витковская, М. Ж. Батырбаева, Л. Ф. Спивак // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2010. — Т. 7. — № 3. — С. 292–304.

2) Анохин, Е. И. Понятие, принципы и методы оценки земель сельскохозяйственного назначения : научная статья / Е. И. Анохин // Евразийский международный научно-аналитический журнал. Проблемы современной экономики. — 2010. — № 3. — С. 35–39.

3) Гуреева, О. В. Особенности земель сельскохозяйственного назначения как объекта оценки: научная статья / О. В. Гуреева // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. — 2008. — № 4. — С. 78–81.

4) Червань, А. Н. Технология проведения геосистемного анализа для территориального планирования природопользования : научная статья / А. Н. Червань, А. Г. Нарожная // Современные проблемы науки и образования. — 2016. — № 6. — С. 56–69.

5) Безруких, В. А. Агроприродный потенциал земледельческой зоны приенисейской сибиря: опыт балльной оценки : научная статья / В. А. Безруких / Вестник Томского государственного университета. — 2009. — № 2. — С. 412–417.

6) Иванов, А. Л. Методология оценки ресурсного потенциала земель России для сельскохозяйственного производства (на примере хмеля) : научная статья / А. Л. Иванов, И. Ю. Савин, А. В. Егоров // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. — 2014. — № 73. — С. 19–53.

7) Дабахова, Е.В. Методические подходы к оценке ресурсного потенциала сельских территорий: научная статья / Е.В. Дабахова, М.В.

Дабахов, В.И. Титова // Достижения науки и техники АПК. — 2013. — №10. — С. 3–5.

8) Осипов, А.Г. Методика интегральной оценки состояния и устойчивости почв при мониторинге земель природно-аграрных систем: научная статья / А.Г. Осипов, В.В. Гарманов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. — 2016. — №43. — С. 293–299.

9) Савин, С. А. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы / И. Ю. Савин, С. А. Барталев, Е. А. Лупян, В. А. Толпин, С. А. Хвостиков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2010. — Т. 7. — № 3. — С. 275–285.

10) Кутенков, Р. П. К вопросу среднесрочного прогнозирования урожайности зерновых культур / Р. П. Кутенков, Ю. П. Бондаренко // Региональные агросистемы: экономика и социология. — 2012. — № 1. — С. 3–7.

11) Чепиков, Н.А. Метод и алгоритм поддержки принятия управленческих решений в системе социально-гигиенического мониторинга : научная статья / Н. А. Чепиков, В. М. Попов, В.В. Юшин // Известия Юго-западного Государственного Университета. Серия: Техника и технологии. — 2012. — №2–2. — С. 153–161.

12) Осипов, А.Г. Методика комплексной оценки оперативно-тактических свойств местности в системах поддержки принятия решений с использованием геоинформационных технологий : научная статья / А. Г. Осипов, А. Н. Ефимов // Труды военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. — 2014. — №642. — С. 102–109.

13) Аракчеев, Д.Б. Использование ГИС «Интегро» и СППР «Эксперт» для аналитической поддержки принятия управленческих решений : научная статья / А.Д. Борисов // Информация и космос. — 2003. — №1–2. — С.23–28.

14) Яцало, Б. И. Управление землепользованием с применением многокритериальной системы поддержки принятия решений Decerns : научная

статья / Б.И. Яцало, В.И. Диденко, С.В. Грицюк, О.А. Мирзеабасов, И.А. Пичугина // Вестник РАЕН. — 2013. — № 2. — С. 66–74.

15) Коцюба, И. Ю. Математические алгоритмы разработки систем поддержки принятия решений, использующих данные геоинформационных систем, для оценки стоимости недвижимости и обоснования выбора района новой застройки : научная статья / И.Ю. Коцюба,а П.П. Петай // Сборник трудов международной научно-практической конференции «Инфогео 2013». — 2013. — №2–1(11). — С.109–111.

16) Самойлов, А.С. Разработка программного обеспечения для поддержки принятия решений по локализации аварийной ситуации на ресурсоснабжающей сети на основе ГИС-технологий : научная статья / А. С. Самойлов // Третья международная конференция "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений". — 2015. — С. 98–102.

17) Головнин, О.К. Веб-ориентированная система информационной поддержки управления транспортной инфраструктурой : научная статья / О.К. Головнин, А.Н. Имамутдинов // Четвертая международная конференция "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений". — 2016. — С. 133–138.

18) Федорова, Н.И. Использование геоинформационных технологий для поддержки принятия решений при управлении территориально-распределенными системами : научная статья / Н.И. Федорова, Р.И. Низамутдинова // Сборник статей «Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем». — 2010. — С. 111–117.

19) Белоновский, П.В. Система принятия решений в производственных процессах газораспределительной организации на основе геоинформационной системы : научная статья / П.В. Белоновский, И.В. Влацкая // Восьмая научно-практическая конференция «Компьютерная интеграция производства ИПИ-технологии». — 2017. — С. 177–180.

20) Куватов, В.И. Модульный принцип построения системы поддержки принятия решений для эффективного планирования операций : научная статья / В.И. Куватов, К.В. Граневский, Д.Н. Скородумов, А.В. Здвижков // Вопросы оборонной техники. Серия 16: технические средства противодействия терроризму. — 2013. — № 1–2. — С. 92–97.

21) Иванов, К.А. Взаимодействие и интеграция геоинформационных веб-сервисов для систем поддержки принятия решений в пространственном планировании территорий : научная статья / К.А. Иванов, А.В. Кудинов, Н.Г. Макаров, К. Микеле, М. Пьеранджело // Фундаментальные исследования. — 2015. — № 2–15. — С. 3267–3271.

22) Шатрова, К. В. Модель представления информации о состоянии и динамике земель сельскохозяйственного назначения / К. В. Шатрова, Ю. А. Маглинец, Г. М. Цибульский // Журнал СФУ. Серия Техника и технологии. — 2014. — Т. 7. — № 8. — С. 984–989.

23) Безруких, В. А. Количественная оценка хозяйственного использования агроприродного потенциала Красноярского края / В. А. Безруких // Вестник Тамбовского ун-та. — 2010. — Т. 15. — Вып. 1. — С. 1586–1592.

24) ДеМерс, Н. Н. Географические информационные системы. Основы / Н. Н. ДеМерс, Н. Майкл. Пер. с англ. — М., 1999. — 508 с.

25) Зеньков, И. В. Результаты исследований поверхностей внешних отвалов, рекультивированных угольным разрезом «Бородинский» для сельскохозяйственного использования / И. В. Зеньков // Уголь. — 2010. — № 2. — С. 69–73.

26) Зеньков, И. В. Управление инновационным развитием земельного сектора АПК в Красноярском крае: монография / И. В. Зеньков, Е. В. Логинова. — Красноярск: СФУ, 2013. — 236 с

27) Комаров, М. Е. Анализ состояния и дифференциальная рекреационная оценка природно-ландшафтного потенциала Белгородской области / М. Е.

Комаров // Научные ведомости. Серия Естественные науки. — 2011. — № 21 (116). — Вып. 17. — С. 191–202.

28) Пашута, А. О. Мониторинг земель сельскохозяйственного назначения как метод государственного управления земельными ресурсами / А. О. Пашута, М. П. Солодовникова // Вестник Воронежского гос. аграр. ун-та. — 2015.— № 3. — С. 245–252.

29) Шатрова, К. В. Модель представления информации о состоянии и динамике земель сельскохозяйственного назначения / К. В. Шатрова, Ю. А. Маглинец, Г. М. Цибульский // Журнал СФУ. Серия Техника и технологии. — 2014. — Т. 7. — № 8. — С. 984–989.

30) Стадник, А. П. Формування критеріїв та показників для еколого-економічного оцінювання сільського сподарського землекористування / А. П. Стадник, В. В. Лукіша // Агроекологічний журнал. — 2011. — № 3. — С. 5–12.

31) Савин, И.Ю. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы / И. Ю. Савин, С. А. Барталев, Е. А. Лупян, В. А. Толпин, С. А. Хвостиков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2010. — Т. 7. — № 3. — С. 275–285

32) Ustaoglu, E. Economic evaluation of agricultural land to assess land use changes // Land Use Policy. — 2016. — № 56. — P. 125–146.

33) Zabel, F. Global Agricultural Land Resources – A High Resolution Suitability Evaluation and Its Perspectives until 2100 under Climate Change Conditions // PLoS ONE. — 2014. № — 9(9). — P. 15–28.

34) Ahmed, G.B. Agriculture land suitability analysis evaluation based multi criteria and GIS approach // IOP Conf. Ser. Earth Environ. — 2016. — Vol. 37(1). — P. 21–30.

35) Jozi, S.A. & Application of Multi-Criteria Decision-Making in Land Evaluation of Agricultural Land Use // Journal of the Indian Society of Remote Sensing. — 2014. — Vol. 42. — P. 363–371.

36) Xiaofan, Z. Appraisal of Land Suitability for Crop Planting Based on Niche Fitness Model //Advance Journal of Food Science and Technology — 2015. — №7. — P. 957–961.

37) Zhang, W. Agricultural land use intensity based on emergy analysis //Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, — 2009. — Vol. 25. — № 7. — P. 204–210.

38) Ильиных, А. Л. О состоянии управления земельными ресурсами агропромышленного комплекса в аспекте его информационного обеспечения [Электронный ресурс] / А. Л. Ильиных, И. А. Гиниятов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. IX Междунар. науч. конгресс и выставка (Новосибирск, 15–26 апр. 2013 г.). Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. — Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью»: сб. материалов. — Новосибирск, 2013. — Т. 3. — С. 55–61.

39) Жилинская, Я.А. Применение метода экспертных оценок для анализа причин возникновения пожаров на объектах размещения твердых бытовых отходов и влияния процессов горения на изменения в свалочном теле : научная статья // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. — 2015. — №1. — С. 24–32.

40) Пиганов, М.Н. Экспертные оценки в управлении качеством радиоэлектронных средств : учебное пособие. // СГАУ, Самара, 2004. — 122с.

41) Галиновский, А.Л. Сравнение различных методов контроля и диагностики качества керамики методом экспертного оценивания : научная статья / А. Л. Галиновский // Инноватика и экспертиза: научные труд. — 2017. — №1. — С. 64–74.

42) Информационный портал посвящённый земледелию [Электронный ресурс] : содержание и состав гумуса в почвах. — Режим доступа: <http://racechrono.ru/osnovy-ucheniya-o-pochvah/5651-soderzhanie-i-sostav-gumusa-v-pochvah.html>

43) Форум информационных технологий [Электронный ресурс] : системологический подход к декомпозиции в объектно-ориентированном анализе и проектировании программного обеспечения.

— Режим доступа: http://citforum.ru/programming/case/ooad_systemology/

44) Гвоздева, Т.В. Проектирование информационных систем: учебное пособие / Т.В. Гвоздева, Б.А. Баллод. — Иваново: Феникс, 2009. — 508 с.

45) Портал Новосибирского государственного технического университета [Электронный ресурс] : диаграммы деятельности. — Режим доступа: https://ciu.nstu.ru/kaf/persons/1914/page47048/diagramm_deyatelnosti

46) Иванов, Д.Ю. Унифицированный язык моделирования UML: учебное пособие / Д.Ю. Иванов, Ф.А. Новиков. — Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета, 2010. — 264 с.

47) Шатрова, К. В. Представление пространственных данных для организации области поиска оптимального маршрута / К. В. Шатрова, Ю. А. Маглинец // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы Междунар. науч. конф. — Красноярск, 23–26 сент. 2014. — Изд-во СФУ, 2014. — С. 345–348.

48) Система агромониторинга [Электронный ресурс] : ГИС-портал Сухобузимского района Красноярского края. — Режим доступа: <http://activemap.ikit.sfu-kras.ru/>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Плакаты презентации

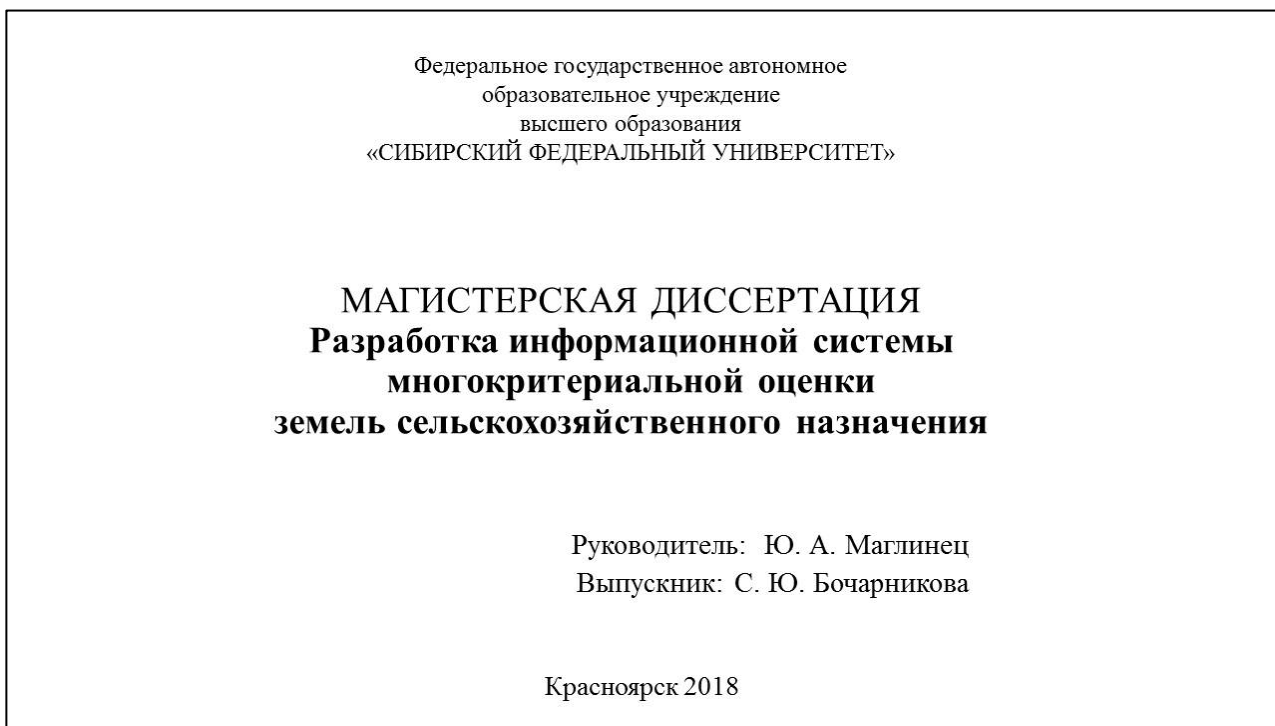


Рисунок А.1 — Плакат презентации №1

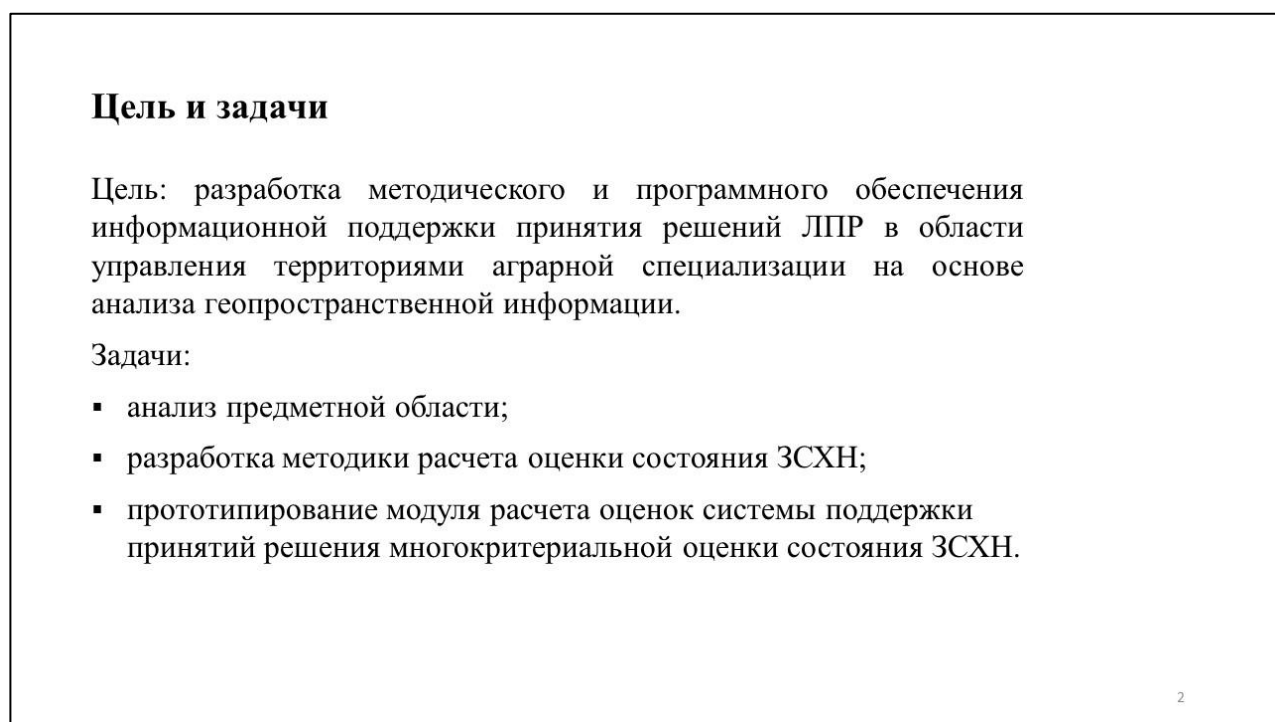


Рисунок А.2 — Плакат презентации №2

Актуальность

Оценка ЗСХН применяется во многих областях человеческой деятельности и решает такие задачи:

- управления сельскохозяйственными предприятиями;
- вовлечения в сельскохозяйственный оборот залежных земель;
- рекультивации зон промышленного использования и др.

Использование СППР дает возможность учесть и обработать большие объемы данных о ЗСХН, а результаты работы системы помогают принять рациональные управленческие решения.

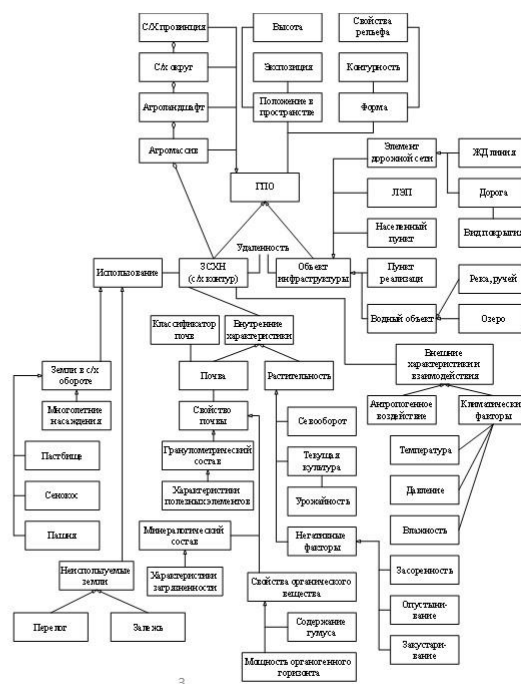


Рисунок А.3 — Плакат презентации №3

Анализ предметной области

Оценка земельного ресурса, в зависимости от поставленной задачи, физически интерпретируется, как балл бонитета, рыночная или кадастровая стоимость, степень пригодности участка для с/х производства и др.

Для получения оценки ЗСХН необходимо учесть знания в различных областях: геоботанике, экономике, экологии, сельском хозяйстве, почвоведении, растениеводстве, геопространственного анализа и др.

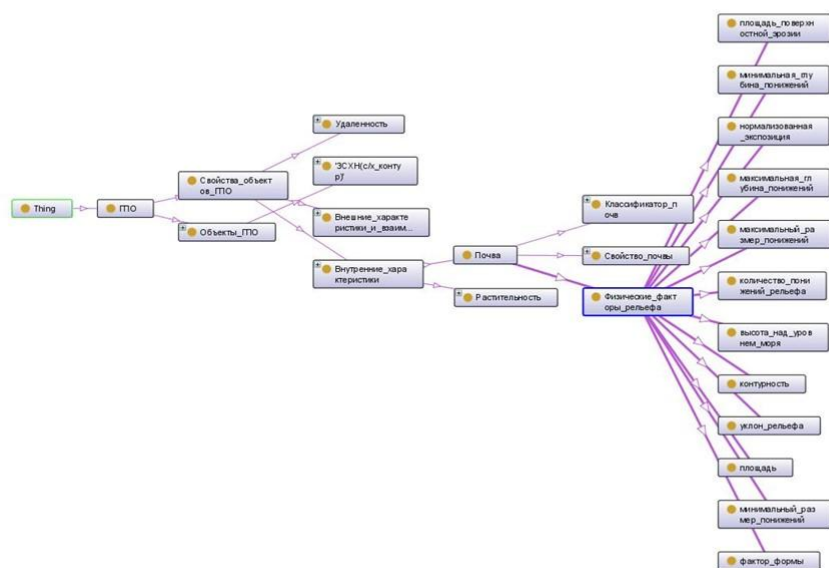
В процессе оценки ЗСХН, необходимо учитывать влияние климатических факторов, характеристик почвенного и растительного покрова, особенности инфраструктуры, геопространственные характеристики оцениваемых участков земной поверхности и др., что говорит об оценке ЗСХН, как о сложной, многокритериальной системе.

Исходя из работ Иванова А. Л., Безруких, В. А., Осипова, А. Г., Гуреевой, О. В. оценка земельных ресурсов строится на основании:

- иерархической декомпозиции системы признаков;
- вычислительных процедур, позволяющих рассчитать указанную оценку.

Рисунок А.4 — Плакат презентации №4

Система знаний о ЗСХН (область «Физические факторы рельефа»)



5

Рисунок А.5 — Плакат презентации №5

Диаграмма вариантов использования



6

Рисунок А.6 — Плакат презентации №6

Схема методики расчета многокритериальной оценки состояния ЗСХН

- Применение методики на примере решения задачи: «Оценка потенциальной эффективности использования земель для производства зерновых культур»

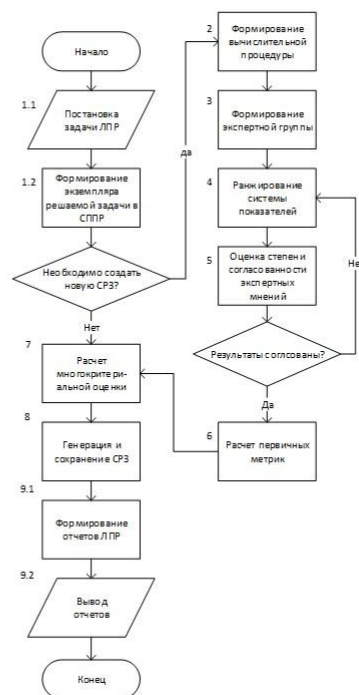


Рисунок А.7 — Плакат презентации №7

Формирование системы показателей, релевантной поставленной задаче

Группы оцениваемых показателей					
СП	ПкУ	ФР	АЭФОИЗ	ОИ	РП
СП1 - содержание гумуса		ФР1 - фактор формы		ОИ1 - до открытой воды	
СП2 - содержание ионообменного калия		ФР2 - контурность		ОИ2 - до населенного пункта	
СП3 - содержание подвижного фосфора		ФР3 - высота над уровнем моря		ОИ3 - до места переработки	
СП4 - содержание азота		ФР4 - нормализованная экспозиция		ОИ4 - до ЛЭП	
СП5 - кислотность		ФР5 - уклон рельефа		ОИ5 - до дороги с твердым покрытием	
СП6 - содержание каменных фракций		ФР6 - площадь		ОИ6 - до асфальтированной дороги	
СП7 - размер элементов каменных фракций		***		***	
СП8 - содержание глины					

Рисунок А.8 — Плакат презентации №8

Получение коэффициентов важности k_i

Для формирования экспертной группы использованы элементы метода «снежный ком».

Ранг 1 присваивается наименее важному показателю, ранг max (общее количество выбранных показателей) — наиболее значимому показателю.

Для оценки согласованности экспертных мнений использован коэффициент конкордации Кендалла W , высокая степень согласованности достигается при $W > 0,8$.

Рассчитанный коэффициент конкордации $W = 0,84$

Коэффициент важности k_i равен отношению суммы рангов показателя к общей сумме рангов всех показателей.

Сводная таблица ранговых значений показателей							
Эксперты	Ранги показателей						
	СП1	СП5	ОИ2	ОИ3	ФР1	ФР5	ФР6
Эксперт 1	7	5	4	3	1	6	2
Эксперт 2	6	7	4	3	1	5	2
Эксперт 3	7	4	5	1	2	6	3
Эксперт 4	5	6	4	2	1	7	3
Эксперт 5	7	6	4	3	1	5	2
Эксперт 6	7	4	5	2	1	6	3
Эксперт 7	7	5	4	2	1	6	3
Эксперт 8	6	7	5	3	1	4	2
Эксперт 9	7	4	5	3	1	6	2
Эксперт 10	7	5	2	1	3	6	4
$\sum x_i$	66	53	42	23	13	57	26
Δ	26	13	2	-17	-27	17	-14
Δ^2	676	169	4	289	729	289	196
Коэффициент важности (k_i)	0,24	0,19	0,15	0,08	0,05	0,20	0,09

9

Рисунок А.9 — Плакат презентации №9

Расчет многокритериальной оценки ЗСНХ

Расчетная формула получения оценки сельскохозяйственных объектов (СХО):

$$O(СХО) = \sum_{i=1}^n k_i * f_i(СХО)$$

где f_i — значение i -го показателя,
 k_i —коэффициента важности данного показателя,
 n — количество показателей, использующихся при выполнении оценки

Данные первичной метрики для выбранных объектов							
Номер поля	Показатель						
	СП1, %	СП5, рН	ОИ2, км	ОИ3, км	ФР1, балл	ФР5, градус	ФР6, га
88	8,3	5,5	10,7	11,0	0,8	2,0	65,0
89	8,2	7,0	10,0	11,0	0,8	1,0	78,0
91	7,0	8,0	8,0	10,0	0,8	2,0	80,0
92	7,5	8,0	7,0	10,0	0,7	2,0	96,0
144	8,4	7,0	6,0	7,0	0,7	1,0	74,0
145	6,6	7,0	6,5	7,5	0,8	2,0	76,0
146	7,6	6,0	7,2	8,2	0,8	2,0	95,0
148	2,1	5,0	7,8	8,8	0,8	2,0	135,0

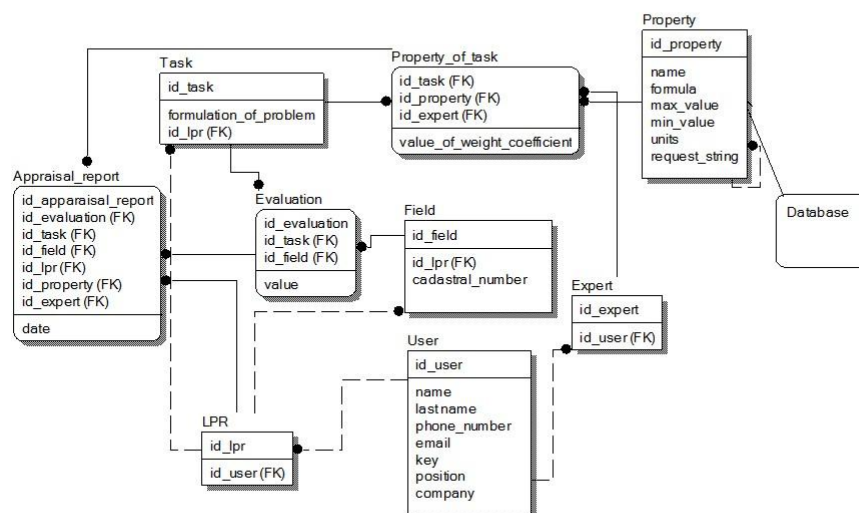
Данные метрики оценки результатов измерений								
Номер поля	Показатель							Итоговая оценка
	СП1, Балл	СП5, Балл	ОИ2, Балл	ОИ3, балл	ФР1, балл	ФР5, балл	ФР6, балл	
88	0,80	0,60	0,80	0,80	0,80	0,60	0,30	0,68
89	0,80	1,00	0,80	0,80	0,80	0,80	0,40	0,80
91	0,70	0,80	0,80	0,80	0,80	0,60	0,40	0,70
92	0,80	0,80	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,74
144	0,80	1,00	0,90	0,90	0,70	0,80	0,40	0,82
145	0,70	1,00	0,90	0,90	0,80	0,60	0,40	0,76
146	0,80	0,80	0,90	0,80	0,80	0,60	0,50	0,74
148	0,20	0,50	0,80	0,80	0,80	0,60	0,70	0,55

$$O(СХО) = 0,24f_1 + 0,19f_2 + 0,15f_3 + 0,08f_4 + 0,05f_5 + 0,2f_6 + 0,09f_7$$

10

Рисунок А.10 — Плакат презентации №10

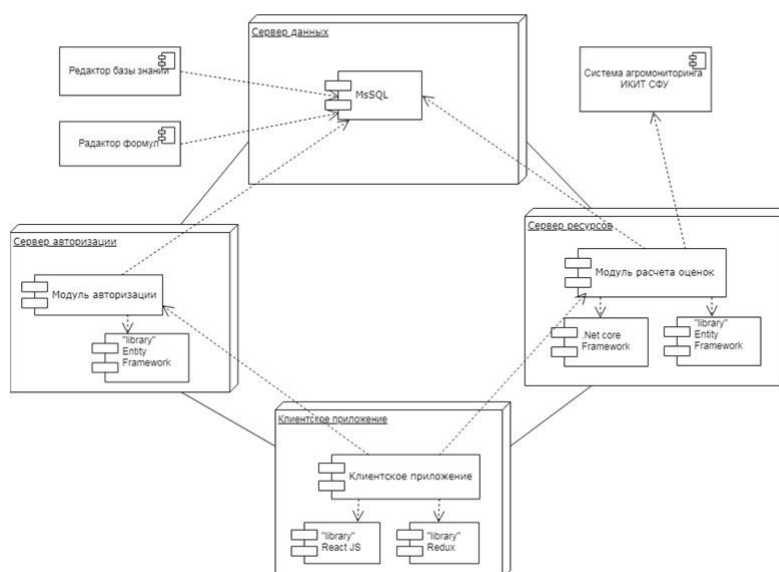
Тематическая область ER-диаграммы «Оценка ЗСХН»



11

Рисунок А.11 — Плакат презентации №11

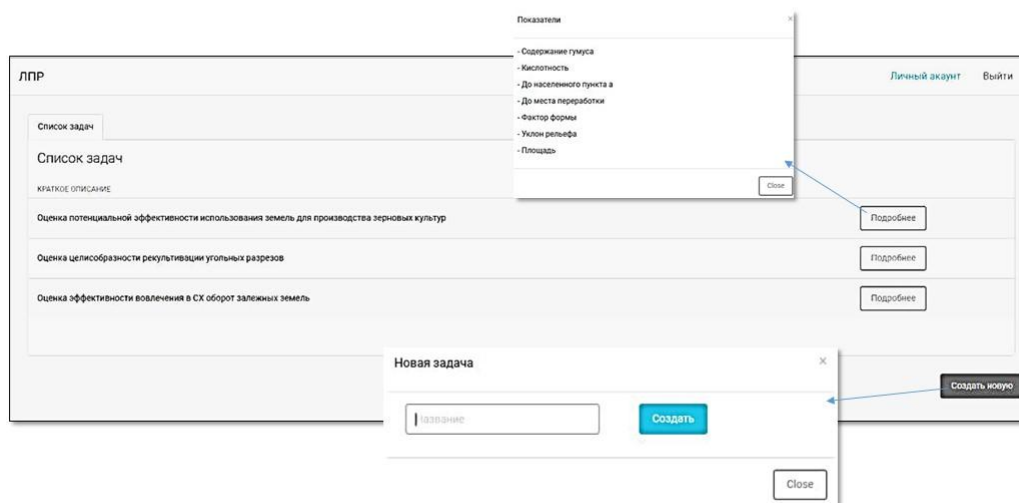
Диаграмма развертывания



12

Рисунок А.12 — Плакат презентации №12

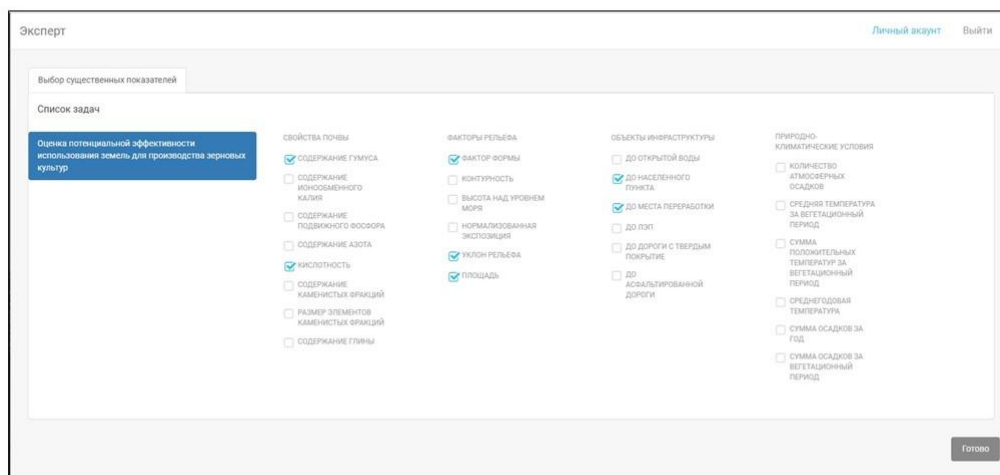
Интерфейс прототипа модуля расчета оценок. Постановка задачи лицом принимающим решения



13

Рисунок А.13 — Плакат презентации №13

Интерфейс прототипа модуля расчета оценок. Выбор существенных показателей



14

Рисунок А.14 — Плакат презентации №14

Интерфейс прототипа модуля расчета оценок. Ранжирование показателей по степени важности

Эксперт Личный акаунт Выйти

Ранжирование показателей

Список задач

Оценка потенциальной эффективности использования земель для производства зерновых культур

Содержание гумуса	7
Кислотность	5
Фактор формы	4
Уклон рельефа	3
Площадь	1
До населенного пункта	6
До места переработки	2

Готово

15

Рисунок А.15 — Плакат презентации №15

Интерфейс прототипа модуля расчета оценок. Получение итоговых оценок для выбранных объектов

ЛПР Личный акаунт Выйти

Показатели

88 89 90 91 92 144 Балл

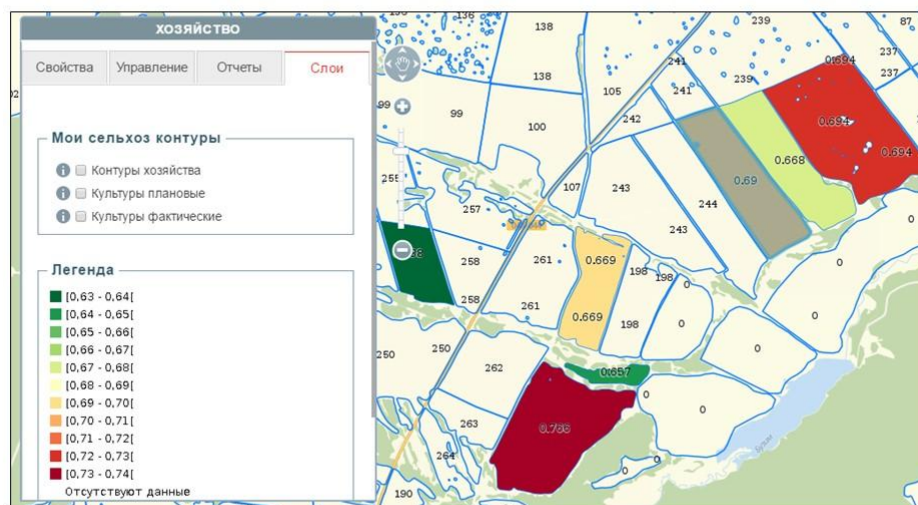
Объект	Показатели	Итоговая оценка
88	Содержание гумуса - 0.8 Балл Кислотность - 0.5 Балл До населенного пункта - 0.8 Балл До места переработки - 0.8 Балл Фактор формы - 0.8 Балл Уклон рельефа - 0.8 Балл Площадь - 0.3 Балл	0.68 Балл
89	Содержание гумуса - 0.8 Балл Кислотность - 1 Балл До населенного пункта - 0.8 Балл До места переработки - 0.8 Балл Фактор формы - 0.8 Балл Уклон рельефа - 0.8 Балл Площадь - 0.4 Балл	0.80 Балл
90	Содержание гумуса - 0.7 Балл Кислотность - 0.8 Балл До населенного пункта - 0.8 Балл До места переработки - 0.8 Балл Фактор формы - 0.8 Балл Уклон рельефа - 0.8 Балл Площадь - 0.4 Балл	0.70 Балл
91	Содержание гумуса - 0.7 Балл Кислотность - 0.8 Балл До населенного пункта - 0.8 Балл До места переработки - 0.8 Балл Фактор формы - 0.8 Балл Уклон рельефа - 0.8 Балл Площадь - 0.4 Балл	0.70 Балл

Рассчитать Сохранить

16

Рисунок А.16 — Плакат презентации №16

Данные многокритериальной оценки ЗСХН в системе агромониторинга ИКИТ СФУ



17

Рисунок А.17 — Плакат презентации №17

Заключение

Проведен анализ предметной области. Рассмотрены существующие методы и модели оценки ЗСХН, подходы и технологии построения СППР.

Разработана методика расчета многокритериальной оценки состояния ЗСХН.

Разработан прототип модуля расчета оценок. Прототип модуля расчета оценок реализует разработанную методику и основной функционал, определенный на этапе проектирования.

18

Рисунок А.18 — Плакат презентации №18

Апробация

Материалы работы были представлены на Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука: Проспект Свободный – 2018.

19

Рисунок А.19 — Плакат презентации №19